

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Ložisková geologie



Bc. Petra Stárková

Variská fluida spodního paleozoika Barrandienu: případová studie ze Žákova lomu ve Velké Chuchli
Variscan fluids of the Barrandian Lower Paleozoic: case study from the Žák's quarry at Velká Chuchle

Typ závěrečné práce

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: doc. RNDr. Jiří Zachariáš, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 22.8.2016

Podpis:

Petra Stárková

ABSTRAKT

Hydrotermální žilné mineralizace v paleozoiku Barrandienu jsou dokladem o migraci fluid během diagenese, či epigenese. Detailnější mineralogicko-geochemický výzkum těchto žil však započal teprve až ke konci 20. století. Předmětem výzkumu obsaženého v této práci bylo určení podmínek vzniku syntektonických kalcitových a křemen-kalcitových žil v Žákově lomu ve Velké Chuchli. Práce je založena na terénním stanovení sukcese hydrotermálních žil a na laboratorním studiu fluidních inkluzí v minerálech, jako na základním nástroji pro určení teploty vzniku žil.

Celkem byly v Žákově lomu rozlišeny čtyři typy/generace kalcitových a křemen-kalcitových žil (od nejstarší po nejmladší): 1) žíly typu „beef calcite“, 2) žíly s plochými krystaly záhnědy v puklinách kolmých na vrstevnatost, 3) střížné žíly s kalcitem ve velké vráse, 4) velká kalcitová žíla se striacemi prostorově vázaná na výrazný lokální zlom. Žíly mají mocnosti přibližně od 1 mm do asi 15 cm. Žíly typu „beef calcite“ jsou mimo jiné také charakteristické orientací protažených zrn kalcitu kolmo na plochu žíly.

Při mikroskopickém studiu fluidních inkluzí byly identifikovány inkluze ropných uhlovodíků (přítomny v žilách typu 1 až 3) a vodné inkluze (zjištěny jen v žilách typu 4). Všechny dvoufázové inkluze homogenizovaly vždy jen na kapalinu a to v rozsahu od 40 do 160 °C. Nejvíce inkluzí homogenizovalo při teplotách 60-95 °C. Není zásadní rozdíl v teplotě homogenizací vodných a ropných inkluzí. Salinita vodných inkluzí odpovídala 0,4 hm. % NaCl ekv. Přítomnost ropných uhlovodíků byla potvrzena modravou, žlutou a nahnědlou barvou fluorescence při excitaci v UV světle.

Klíčová slova: žíly, fluidní inkluze, vápence

SUMMARY

Hydrothermal veins in the Paleozoic of the Barrandian testify for fluid migration during diagenesis and/or epigenesis. A more detailed mineralogical and geochemical research of these veins has started since the end of the 20th century. The subject of a research included in this thesis is determination of conditions of formation of syntectonic calcite and quartz-calcite veins in the locality called Žák's quarry in Velká Chuchle. This thesis is based on field determination of succession of hydrothermal veins and laboratory study of fluid inclusions in minerals as a basic tool for determination of temperatures during formation of veins.

In total, there were distinguished four types/generations of calcite and quartz-calcite veins in Žák's quarry (from oldest to youngest): 1) veins of „beef calcite“, 2) veins with flat crystals of smoky quartz located in joints perpendicular to bedding, 3) shear veins with calcite located in the big fold, 4) a big calcite vein with tectonic striae spatially bound to significant local fault. Veins have thickness approximately from 1 mm to about 15 cm. By the way, veins of „beef calcite“ are characteristic by orientation of prolonged grains of calcite in the direction orthogonal towards to the plane of vein.

The microscopic study of fluid inclusions revealed presence of petroleum hydrocarbons (present in veins of types 1 and 3) and aqueous inclusions (found only in veins of type 4). All two-phase inclusions always homogenized to the liquid state in the range from 40 to 160 °C. The most of inclusions homogenized from 60 to 95 °C. No significant difference between the temperatures of homogenization of aqueous and petroleum inclusions was found. The salinity of aqueous inclusions is estimated to 0,4 eq.wt. % NaCl. The presence of petroleum inclusion was confirmed by a light blue, yellow and brownish fluorescence during excitation in ultra-violet light.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	GEOLOGIE.....	11
3	GEOLOGIE STUDOVANÉ LOKALITY	15
4	FLUIDNÍ INKLUZE.....	16
5	METODIKA.....	17
6	VÝSLEDKY	18
6.1	Typy hydrotermálních žil v Žákově lomu	18
7	DISKUZE	44
7.1	Typy hydrotermálních žil v Žákově lomu	44
7.2	Podmínky vzniku hydrotermálních žil v Žákově lomu.....	45
7.3	Fosilní organická hmota a uhlovodíky	47
8	ZÁVĚR.....	52
9	LITERATURA.....	53

Seznam obrázků

Obr. 1. Geologie Tepelsko-Barrandienské oblasti s prekambričným základem (researchgate.net).....	11
Obr. 2. Litostratigrafické dělení siluru v Barrandienské pánvi (upr. Kříž, 1992 in Suchý, 2002).....	13
Obr. 3. Rozdělení silurských hornin (Horný, 1962 in Chlupáč et al., 1992).....	14
Obr. 4. Silurská synsedimentární tektonika, vulkanická centra a subpánevň segmenty (upr. podle Kříže, 1991).....	15
Obr. 5. Rozdělení stěny Žákova lomu.....	18
Obr. 6. Krystalické „beef“ žíly (vlevo) a druhý typ našedlých „beef“ žil (vpravo) ve vápenci.....	18
Obr. 7. Záhnědová žíla v lomu.....	19
Obr. 8. Typ 2 „záhněda-kalcit“ ze sutiny.....	19
Obr. 9. Střížné žíly s masivním kalcitem.....	19
Obr. 10. Hrubozrnná kalcitová žíla, největší v lomu. Velikost zrn 1-2 cm (vlevo). Obr. vpravo - striace po horizontálním posunu.....	20
Obr. 11. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-11.....	23
Obr. 12. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-51B.....	26
Obr. 13. Průhledná kalcitová žíla v „beef“ kalcitu. Zvětšeno 10x.....	27
Obr. 14. Fluorescence uhlovodíků v inkluzích vyvolaná excitací v UV světle.....	28
Obr. 15. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-23.....	30
Obr. 16. Detail kalcitové žiloviny: a) transparentní a přechodný typ kalcitu, b) zrna kalcitu lemovaná organickou hmotou.....	31
Obr. 17. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-26.....	32
Obr. 18. „Necking down“.....	34
Obr. 19. Histogram teplot homogenizace hc(LV) a w(LV) inkluzí ze vzorku BA-21.....	35
Obr. 20. Dva typy fluid rozlišených fluorescencí. Zvětšeno 10x.....	36
Obr. 21. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-24.....	37
Obr. 22. a) Fluidní inkluze pod UV světlem, b) přechodné zóny v kalcitu.....	38
Obr. 23. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-22.....	39
Obr. 24. Uhlovodíkové FI pod UV světlem ve schránce měkkýše.....	40
Obr. 25. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-15.....	41

Obr. 26. Histogram teplot zahrnující všechny naměřené teploty homogenizace w(LV) a hc(LV) inkluzí ze vzorku záhnědy BA-6.....	43
Obr. 27. Sekundární trail w(LV) a w(L) inkluzí, ve větší hloubce inkluze w(L) paralelní se štěpností. Vzorek BA-11.....	44
Obr. 28. Graf naznačující nejpočetnější skupinu dat (60- 90 °C) ze všech kalcitových vzorků. Vzorek z lokality Pecoldovy lomy se nachází mezi FIA 10-20.....	45
Obr. 29. Výsledné teploty homogenizace všech inkluzí ze záhněd.....	46
Obr. 30. Celkový souhrn všech FI. Největší naměřené množství FI v teplotách 65 – 73 °C.....	46

Seznam tabulek

Tab. 1. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-11.	23
Tab. 2. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-51B.....	26
Tab. 3. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-23.	30
Tab. 4. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-26.	32
Tab. 5. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-21.	34
Tab. 6. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-24.	37
Tab. 7. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-22.	39
Tab. 8. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-15.	41
Tab. 9. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku záhnědy BA-6.	43

Seznam použitých zkratk

API - American petroleum institut

FI – fluidní inkluze

P - primární inkluze

S – sekundární inkluze

PS – pseudosekundární inkluze

L - kapalná fáze

V - plynná fáze

S - solid

T_h , T_h – teplota homogenizace

T_{m-ice} , $T_{m_{ice}}$ - teplota tání ledu

F – stupeň zaplnění

w(LV) – vodné dvoufázové plynokapalné uzavřeniny bohaté kapalinou

w(L) – vodné jednofázové kapalné inkluze

hc(LV) – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou

hc(L) – jednofázové kapalné inkluze uhlovodíků

hc(V) – jednofázové plynné inkluze uhlovodíků

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, Ph.D., který mi ochotně poskytoval konzultace a předával cenné rady při tvorbě této práce, dále pak také RNDr. Václavu Suchému, CSc. za nápad na psaní diplomové práce na toto téma. Děkuji také mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali ve studiu a při vypracování tohoto diplomového projektu.

1 ÚVOD

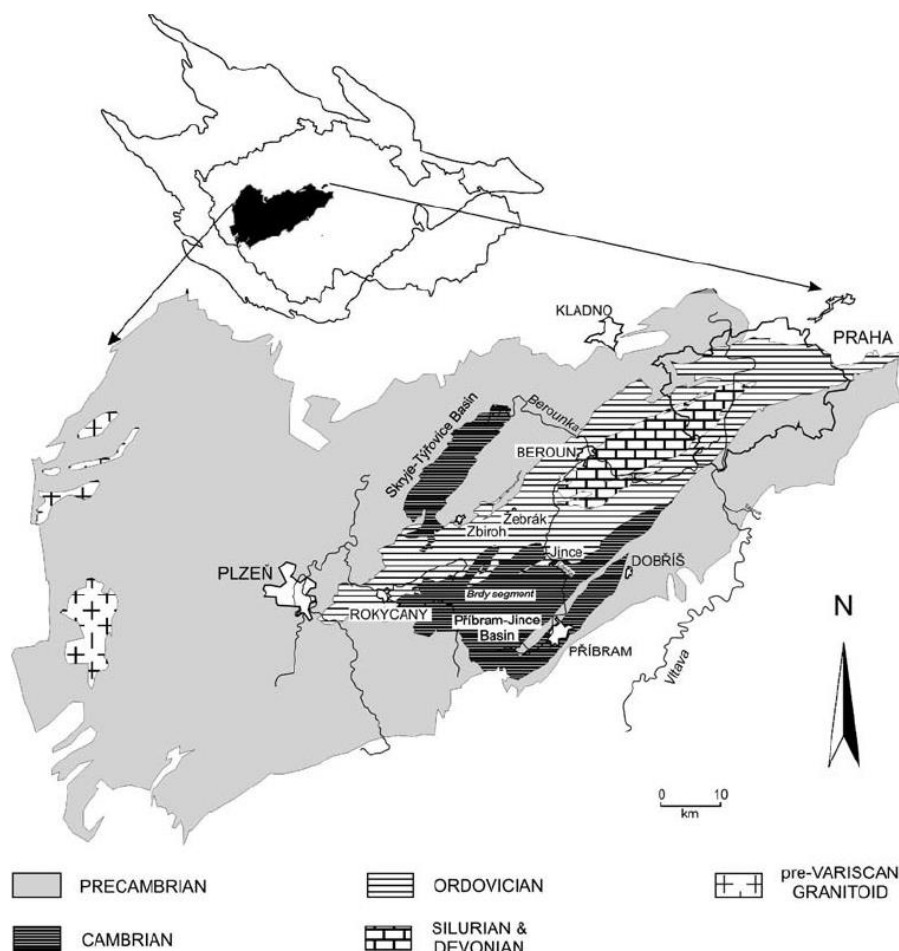
Diplomová práce je zaměřena na studium fluidních inkluzí v diagenetických a syntektonických kalcitových žilách na lokalitě Žákův lom ve Velké Chuchli na jihozápadním okraji Prahy. Oblast Barrandienu proslavil světoznámý francouzský inženýr a paleontolog Joachim Barrande nálezem hojných zkamenělých živočichů. Většina výzkumů v minulosti byla orientována zejména na stratigrafii a paleontologii, méně na strukturně-geologický vývoj a nejmenší pozornost byla věnována studiu paleofluid (např. Halavínová et al., 2008, Suchý et al., 2000, 2010).

Cílem této práce je interpretovat podmínky vzniku kalcitových žil, zejména teplotu a složení fluid a určit posloupnost jejich vzniku a celkový vztah k deformaci hornin na dané lokalitě. Základní pracovní metodou jsou mikrotermometrická měření fluidních inkluzí obsažených v kalcitové žilovině.

2 GEOLOGIE

Barrandien představuje území, které je tvořeno nemetamorfovanými, nebo slabě metamorfovanými horninami proterozoika a nemetamorfovanými horninami staršího paleozoika. Paleozoické horniny nasedají diskordantně na horniny proterozoické. Paleozoické horniny svým rozšířením zasahují oblast přibližně mezi Prahou a Plzní, v délce asi 90 km (ve směru JZ-SV) a šířce více jak 20 km (ve směru SZ - JV) (Volk et al., 2002). Barrandien tvoří podstatnou součást tepelsko-barrandienské jednotky (Obr. 1); podle regionálně geologické klasifikace byl zařazen do bohemika.

Sedimentace v barrandienské oblasti byla ovlivněna transgresí a regresí moře, vulkanickou činností (bazaltovou a andezit-ryolitovou), synsedimentárními zlomy a deformacemi. Jeho okrajová část je tvořené proterozoikem a centrální oblast pánve je vyplněná asi 3500 m mocnými paleozoickými sedimenty (Havlíček, 1981).



Obr. 1. Geologie Tepelsko-Barrandienské oblasti s prekambričským základem (researchgate.net).

Strukturně-geologickému vývoji oblasti se věnovali zejména Barrande, Krejčí, Kettner, Kodym, Havlíček, Jaroš, Kukal, Jäger, Hladil, Melichar a Röhlich.

Tektonika oblasti celé pražské pánve není dodnes úplně vyjasněná. Hlavními zlomy a deformační diverzitou se asi jako poslední komplexně zabýval (Röhlich, 2007). Odlišil podélné a transversální zlomy a zařadil je do období, kdy vznikly.

Shrnutí stratigrafického vývoje od kambria do devonu a historii geologických a stratigrafických výzkumů v Barradienu uvádí Chlupáč et al. (1992, 2011).

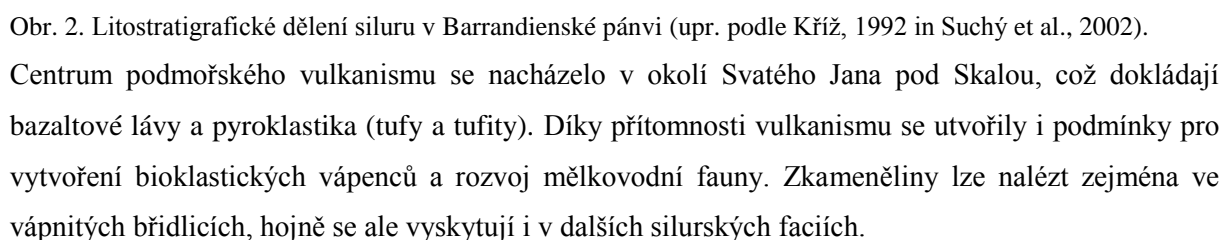
Kambrické sekvence (545 – 490 Ma) Barradienu jsou diskordantně uloženy na kadomsky zvrásněném svrchním proterozoiku (kralupsko-zbraslavská skupina) a vyplňují deprese vzniklé při této orogenezi. Nejvýznamnější sledy se nazývají brdské a skryjsko-týřovické (plošně menší). Pro tyto sledy je typická nevytřídnost materiálu skládajícího se hlavně z valounů pocházejících z různých zdrojů (žitecké a hlubocké slepence). Směrem do nadloží dochází ke zjemňování hornin měnících se na pískovce a břidlice. V nejsvrchnějších partiích kambria se nacházejí vulkanity. JZ směrem od Plzně jsou známy i hlubinné kambrické horniny. Z kambria pochází řada zkamenělých lingulidních ramenonožců, trilobitů, ostnokožců, hyolitů a další zajímavé fauny jako např. měkkýšů. Trilobiti se nacházejí zejména ve skryjských břidlicích umístěných ve spodní části jineckého souvrství.

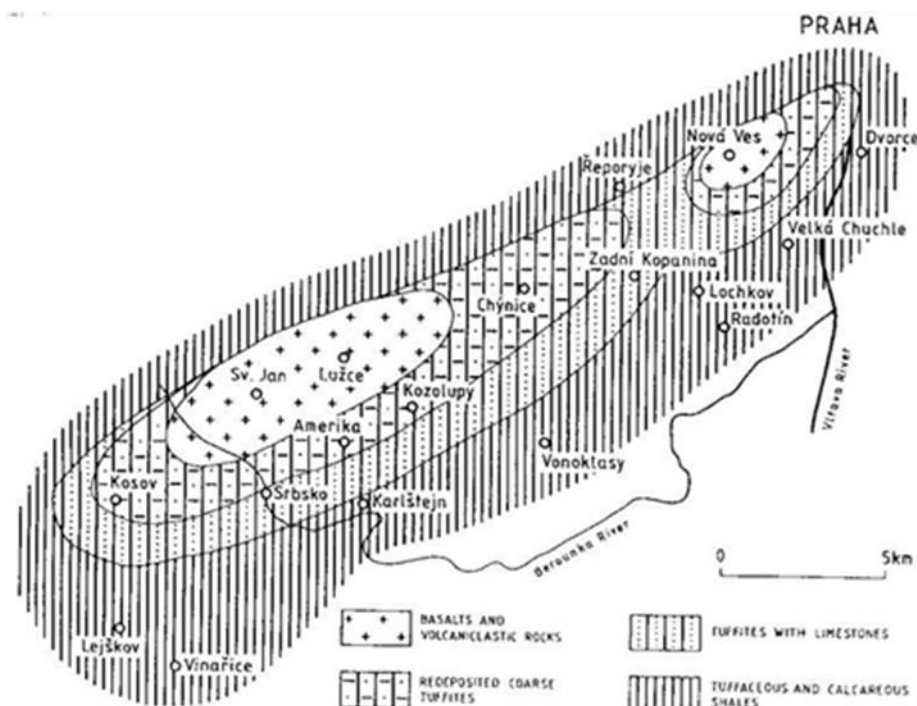
Ordovická souvrství (490 – 435/440 Ma) nasedají na proterozoický kadomsky zvrásněný podklad nebo na kambrické horniny vždy po výrazném stratigrafickém hiátu. Převažují zejména facie písčité a jílovité. V souvrství se vyskytují i křemence, silicity, vulkanity a železné rudy. Mořská sedimentace byla doprovázena také vulkanismem bazaltového typu, přičemž vznikala i pyroklastika. Ordovické sledy v mapě lemují okrajové části pražské pánve a na východ od Prahy se noří do podloží české křídové tabule. Vymezují se podle graptolitové fauny na spodní ordovik – tremadok a část arenigu, druhá půlka arenigu a llanvirn jako střední ordovik, k čemuž lze podle českého dělení přidat část dobrotivu, na které pak dále navazuje stupeň beroun, královodvor, kosov jako zástupci svrchního ordoviku. Během spodního až středního ordoviku měl sedimentační prostor tvar lineární deprese táhnoucí se SV a JZ směrem, dnes označovaný jako pražská pánev (Havlíček, 1981 in Chlupáč et al., 2011).

Silur (443 – 417 Ma) se dělí na spodní (llandover a wenlock) a svrchní (ludlow a přídolí). Celkově tato souvrství mají mocnost jen asi 0,5 km. V nejvyšším ordoviku došlo k prudkému ochlazení, které ve spodním siluru vystřídal naopak globální oteplení, což mělo za důsledek zvýšení mořské hladiny a transgrese, které ovlivňovaly graptolitovou faunu a jiné. Počínaje ludlow dochází k ústupu moře a ubývání graptolitové fauny. Oblast Barradienu byla tehdy samostatným tektonicky omezeným mikrokontinentem v tropickém pásmu mezi 30- 40 ° j. š., který se v čase posunoval směrem více na sever (Tait et al., 2000).

Silurská oddělení v Barradienu se vyvíjela v souladu s vulkanickou činností zejména ve wenlocku a ludlowu, která měla významný vliv na sedimentaci. Ve spodním siluru vznikaly zejména graptolitové břidlice, místy i s metamorfovanými horninami a vulkanity a ve svrchním siluru se tvořily karbonátové sledy, hlavně bioklastické vápence. Ze zkamenělin převažují hlavonožci Nautiloidea vyskytující se hojně v cefalopodových („ortocerových“) vápencích, dále ramenonožci - korály, mechovky, ostnokožci – lilijice podle kterých se označují krinoidové vápence, trilobiti – ve svrchním

Nejstarší silur je zastoupen **liteňským souvrstvím**, které se dále dělí na *želkovické* (graptolitové břidlice, ve spodní části se zvýšeným podílem písčitého materiálu a s vložkami křemitých břidlic a černých silicitů), *litohlavské* (střídání graptolitových a zelenavých jílových břidlic) a *motolské* (černošedé jílové i vápnité graptolitové břidlice s hojnými tufitickými vložkami a vápencovými konkréciemi).





Obr. 3. Rozdělení silurských hornin (Horný, 1962 in Chlupáč et al., 1992).

Kopaninské souvrství má podobnou litologii jako motolské, s tou změnou, že na graptolitové břidlice začínají nasedat vápnité břidlice a konkrece. Vyskytují se v nich zejména pelagičtí ostrakodi. V bioklastických vápencích se často nacházejí krinoidi, ramenonožci, trilobiti a další. Kopaninské souvrství bylo ještě zasaženo vulkanickou činností, při které se ukládaly po změlnění oblasti bioklastické a biomikritické vápence obsahující bitumeny s četnými nálezy cefalopodů (orthoceras).

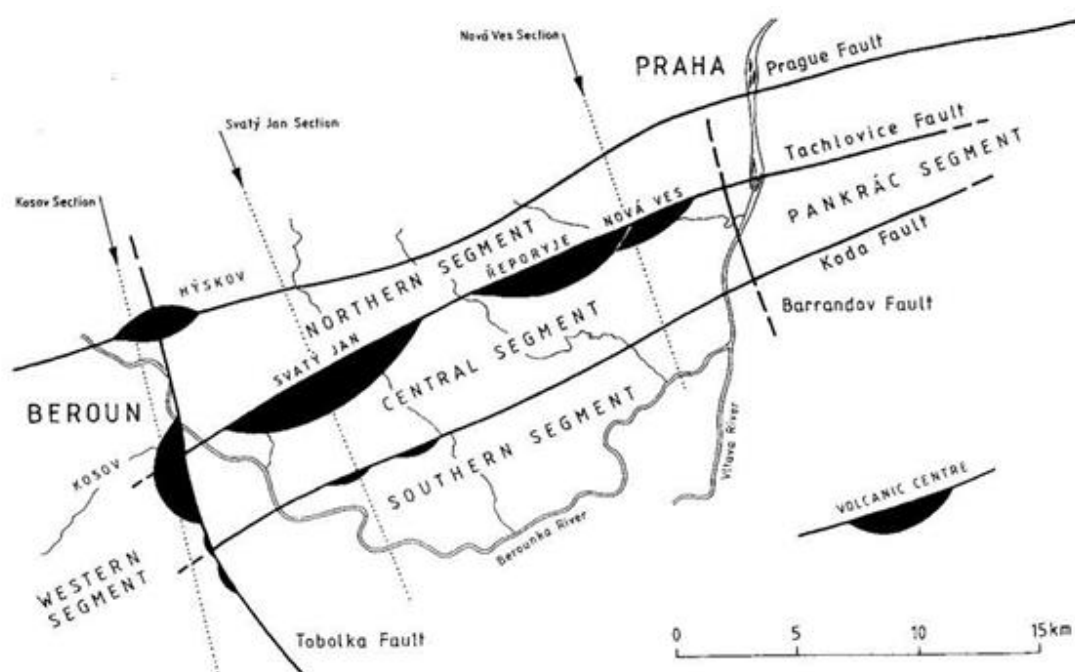
Nejvyšší jednotka siluru (oddělení přídolí) je **přídolské (požárské) souvrství**. Je charakteristické nástupem tmavých jemnozrnných vápenců s vložkami vápnitých břidlic, které naznačují prohlubování pražské pánve doprovázené mořskou transgresí, tzv. bazální přídolský event. V JV části se nacházejí tmavě šedé, jemnozrnné bituminózní vápence, které se rytmicky střídají s vložkami černošedých vápnitých břidlic. V horninách se vyskytuje vysoký obsah uhlíku a pyrit, což odpovídá anoxickému prostředí. Je v něm typický hojný výskyt graptolitů, hlavonožců, mlžů, ostrakodů, koryšů a vymřelých cévnatých rostlin. V SZ části souvrství se nachází mělkovodní světle šedé bioklastické krinoidové vápence s hojnými ramenonožci.

Silurské uloženiny jsou dnes zachovány jen jako denudační zbytek mezi Zdicemi a Prahou, ale i tak lze odlišit segmentaci pánve. Výrazný je synsedimentární Tachlovický zlom (viz Obr. 4) oddělující kry o nestejné subsidenci a různém litologickém vývoji. Podle (Röhlich, 2007) se podélný Tachlovický zlom přibližně shoduje s ohraničením mezi dvěma faciemi wenlocku: převládající graptolitové břidlice na SZ a vulkanicko-karbonátové facie na JV. Sklon má asi 50 ° (Prantl a Příbyl 1945 in Röhlich, 2007). Podle (Chlupáč et al., 1992) Tachlovický zlom dostal konečnou podobu strmého přesmyku (odlišeno pyroklastiky) až po vyvrátnění paleozoika. Synsedimentární deformace

zřejmě pokračovaly až do devonu, což nelze pro malý plošný rozsah zachovaných sedimentů jednoznačně doložit.

Vulkanismus byl soustředěn na poruchové zóny SV-JZ směru. S vulkanickou aktivitou je spojeno utváření motolských vrstev s pyroklastiky zasahujících až do spodní části kopaninského souvrství. Ve vrstvách převažuje pyroklastický materiál nad alkalickými bazalty. Místy se objevují i ultrabazické horniny (pikrobazalty). S vulkanismem je také spojena tvorba subvulkanických těles jako jsou žíly doleritických bazaltů o desítkách metrů, které způsobily kontaktní přeměnu graptolitových břidlic. Vulkanická činnost probíhala za extenzního režimu a má vnitrodeskový charakter (Patočka et al. 1993).

Mořské dno se od siluru stále prohlubovalo až do devonu, přičemž docházelo k přeměně jílových břidlic na vápenaté a dále až na devonské vápence, které vyplňují střed barrandienské synklinály jako nejmladší horniny. Během devonu došlo k zániku moře. Devonské sedimenty jsou převážně bioklastické a útesové vápence odrážející mělkovodní prostředí.



Obr. 4. Silurská synsedimentární tektonika, vulkanická centra a subpánevni segmenty (upr. podle Kříže, 1991).

3 GEOLOGIE STUDOVANÉ LOKALITY

Studovaná lokalita Žákův lom se nachází ve Velké Chuchli v přírodní rezervaci Homolka (celk. rozloha 13,46 ha). Žákův lom tvoří skalní odkryv o délce asi 300 m a asi 15 m vertikálně. Lom se nachází v přídolském (požárském) souvrství a je též nazývaný jako Eurypterový lom, nebo jako lom v Dolích. V minulosti byl lom těžen pro dobrou kvalitu vápence na známou černou mozaiku na dlažební kostky v Praze, stavební kámen, vápno a štěrk (Kříž, 1999), ale těžba byla zastavena, čímž došlo ke znehodnocení vápence zvětráním. Stěna lomu je dnes, zřejmě z důvodu rekultivace, částečně

zahrnuta cizorodým těžebním materiálem. Lokalita byla v minulosti hojně navštěvována paleontology a sběrateli kvůli unikátním fosiliím.

Přídolské souvrství v Žákově lomu je tvořeno charakteristickými sedimentárními sekvencemi marinního původu, zejména jemnozrnnými tmavými deskovitými biomikritovými a biodetritickými vápenci rytmicky se střídajícími s břidličnatými vložkami. Vápence lze označit jako laminity. Po částečném loužení v kyselině chlorovodíkové je na nich dobře patrné střídání světlých a tmavších poloh o mocnosti několika milimetrů. Všechny horniny (vápence i břidlice) obsahují značný podíl bituminózní složky. Dále hojně obsahují fosilie jako např. *Monograptus transgrediens* (Kříž et al., 1986 in Kříž, 1999), *Ceratiocaris grata* a nálezy eurypteridů (Chlupáč, 1992). Z minoritních minerálů se objevuje pyrit a organický uhlík. Vápence se podle klasifikace Dunhama (1962) řadí jako střídající se vrstvy wackestone – packestone až grainstone. Sedimenty jsou v lomu zhruba horizontálně uloženy, avšak uprostřed lomové stěny se nachází výrazná vrása metrových rozměrů. Ve svrchnějších partiích stěny lomu se též objevují vápnité konkrece. Stěna lomu je viditelně tektonicky narušena dvěma výraznějšími zlomy. Velmi hojné jsou pukliny různých směrů a též různé mocné kalcitové žíly a žilky.

4 FLUIDNÍ INKLUZE

Fluidní inkluze je hermeticky izolovaná část fluida zachycená v minerálu, která obsahově nesouvisí s okolním prostředím. K zachycení fluida a vzniku fluidní inkluze dochází při růstu nebo rekrystalizaci krystalu. Na základě mikrotermometrických měření lze zjistit přibližnou teplotu a tlak roztoků, ze kterých minerál vznikl (ve skutečnosti je naměřená teplota i tlak nižší než skutečné podmínky při vzniku inkluze), jejich složení, salinitu (přibližnou koncentraci složek ze zachyceného fluida) indikující mimo jiné i prostředí vzniku (mořské/sladkovodní), dále homo/heterogenitu fluida. V neposlední řadě jsou mikrotermometrická data užitečná pro určení sukcese vzniku minerálů i fluid. Inkluze obsahující uhlovodíky, jsou důležitým nástrojem pro studium migrace uhlovodíků v sedimentárních pánvích (Bodnar, 2003).

Fluidní inkluze se dají klasifikovat podle obsahu (vzhledu), nebo podle geneze. Při měření inkluzí je třeba dbát na obojí. Popisná část zahrnuje tvar, velikost, obsah a barvu fluidních inkluzí, genetická část je důležitá hlavně pro určení fází obsažených ve fluidních inkluzích a určení teplot, podle kterých se pak dá odvodit doba jejich vzniku.

Základně se klasifikují na plynné (V), pevné (S) a kapalné (L). Podle obsahu fází je pak lze dále dělit podle (Shepherd et al., 1985) na:

Jednofázové kapalné – obsahují pouze L

Dvoufázové kapalinou bohaté – převaha L nad V

Dvoufázové plynem bohaté – převaha V nad L

Jednofázové plynné – obsahují pouze V

Multifázové – obsahují L, V a do 50% S

Multisolidové – obsahují více než 50% S

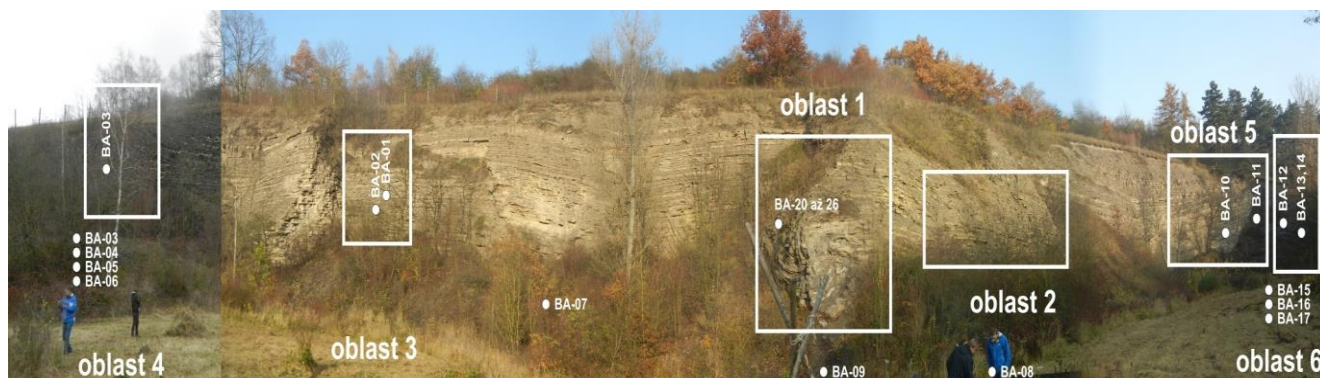
Nemísitelné kapaliny – obsahují (L1, L2, V)

Inkluze tavenin

Podle vztahu k hostitelskému minerálu lze FI dělit na primární (P), sekundární (S) a pseudosekundární (PS).

5 METODIKA

Na podzim roku 2014 byly odebrány vzorky ze stěny Žákova lomu, která byla rozdělena do šesti zájmových partií (viz obr. 5), z nichž bylo vzato 26 vzorků kalcitových žil. Dominantní vrása se nachází v oblasti č. 1. Byly také odebrány vzorky vápence s výskytem plochých krystalů záhněd na strmých puklinách. Krystaly záhnědy byly od vápence odděleny loužením v kyselině chlorovodíkové. Ze všech vzorků byly v brusírně PřF UK zhotoveny oboustranně leštěné výbrusy o mocnosti asi 250 μm . Výbrusy jsem nejdříve oskenovala, poté prohlédla na polarizačním mikroskopu Leica DMPL a selektovala je podle obsahu dostatečně velkých fluidních inkluzí (větší jak 3 μm) na mikrotermometrická měření. Všechny inkluze vypadaly na první pohled stejně - čirá kapalina, proto fluorescence nebyla zkoušena hned od počátku. Vybrané vzorky (8) jsem odlepila v acetonu a postupně je odlamovala zhruba na velikost 5 x 5 mm. Měření fluidních inkluzí v jednotlivých úlomcích byla provedena na mikrotermometrické aparatuře Linkam THMSG 600, která má rozsah teplot od -190 do 600 °C a je instalována na mikroskopu Olympus BX-40. Při měření tání ledu byl u třetího vzorku zjištěn problém s měřením (více uvedeno v popisu měřených asociací), čímž se začalo předpokládat, že ve fluidních inkluzích nebude voda. Později bylo pomocí UV fluorescence prokázáno, že některé fluidní inkluze nejsou vodné, ale ropné. Vzhledem k malé velikosti fluidních inkluzí a někdy i špatně průhlednému vzorku (kalcit) by led stejně nešel změřit ve všech inkluzích (i kdyby tam voda byla). Naměřená data byla průběžně zaznamenávána do Microsoft Excel pro zpracování výsledků do histogramů. Pro vymrazování fluidních inkluzí byl použit kapalný dusík. Pro pozorování fluidních inkluzí byly nejvíce použity objektivy se zvětšením 20x a 50x. Na závěr byla ještě pro kontrolu u všech vzorků dodatečně provedena fluorescence pro zjištění přítomnosti kapalných uhlovodíků. Na to byl použit polarizační mikroskop Leica DMPL s excitací fluorescence dopadem UV záření (ca 360 nm).



Obr. 5. Rozdělení stěny Žákova lomu.

6 VÝSLEDKY

6.1 Typy hydrotermálních žil v Žákově lomu

Na lokalitě byly identifikovány čtyři typy kalcitových žil:

Typ 1 označuji též jako „beef calcite“, ve shodě s předchozími autory (Suchý et al., 2002; Volk et al., 2002) nebo vláknitý „beef“ kalcit. Žíly jsou paralelní s vrstevnatostí, mají mocnost od 5 mm do 5 cm a bílou až šedivou barvu. Zřejmě se jedná o nejstarší typ kalcitových žil v lomu. Jejich vznik je obvykle vysvětlován přetlakem fluid při diagenézi. Krystalickým „beefem“ procházejí ostatní mladší kalcitové či záhnědové žilky. Žíly typu „beef“ jsou charakteristické „zubovitým“ uspořádáním kalcitu (kolmo na plochu žíly). Kalcit může být jak neprůhledný masivní, tak průhledný hrubě krystalický. První typ se vyskytuje mezi deskovitými vápenci a je tvořen masivním našedlým kalcitem. Byl zjištěn v zámku vrásky. Lze v něm podstatně hůře odlišit zubovitou stavbu než v hruběji krystalickém „beefu“. Mívá také i větší mocnosti, 1 až 5 cm žil. Druhý typ se nejčastěji nachází ve vložkách břidlic, ale může vyplňovat i volný prostor mezi deskami vápence; mocnost žilek je do několika mm.



Obr. 6. Krystalické „beef“ žíly (vlevo) a druhý typ našedlých „beef“ žil (vpravo) ve vápenci.

Typ 2 lze též označit jako „záhněda-kalcit“. Jedná se o málo mocné žilky (1-3 mm) v naprosté většině případů kolmé na vrstevnatost (vzácně i paralelní s vrstevnatostí). Žilky vyplňují dva systémy kolmých puklin, které jsou na sebe přibližně kolmé. V žilách se nachází ploché krystaly záhnědy obrůstáné mladším kalcitem. Vzorky pocházejí z oblasti 2 (viz Obr. 5).



Obr. 7. Záhnědová žíla v lomu.



Obr. 8. Typ 2 „záhněda- kalcit“ ze sutiny.

Typ 3 jsou střížné žíly se vyskytují zejména v oblasti „vrásky“ ve střední části lomové stěny. Tyto žíly jsou tvořeny masivním bílým kalcitem. Lokálně protínají zvrásněné vápence a prochází přes několik vrstev. Velmi často jsou doprovázené i tektonickou striací, jak v samotné žilovině, tak v okolní hornině.



Obr. 9. Střížné žíly s masivním kalcitem.

Typ 4 představují mocné kalcitové žíly zřetelně vázané na hlavní zlomy. Jsou to vertikální žíly vyplňující zlomy, které procházejí celou lomovou stěnou. Jejich mocnost je 3-15 cm a tvoří je masivní hrubozrnný kalcit. Jedná se nejspíše o nejmladší typ žil. Zlom je doprovázen drobnějšími zpeřenými

tahovými žilami s masivním bílým jemnozrnným kalcitem, podle nichž lze určit, že na zlomu došlo k pravostrannému horizontálnímu posunu. Tato oblast je označena jako č. 5 na Obr. 5.



Obr. 10. Hrubozrnná kalcitová žíla, největší v lomu. Velikost zrn 1-2 cm (vlevo). Obr. vpravo - striace po horizontálním posunu.

6.2 Studium fluidních inkluzí

Celkem bylo studováno 8 výbrusů kalcitu a 1 vzorek křemene (záhnědy) obsahující 5 krystalů záhněd. Dva krystaly záhnědy byly též studovány v nevyleštěném stavu, výsledky jsou zahrnuty do měření (viz vzorek 9).

Seznam vzorků:

- 1) BA – 11 (mocná subvertikální kalcitová žíla)
- 2) BA - 51B (subhorizontální kalcitová žíla – Pecoldovy lomy)
- 3) BA - 23 (tmavý „beef calcite“ z ložní žíly)
- 4) BA – 26 (subvertikální žilka krystalického kalcitu)
- 5) BA – 21 (kalcitová žíla ze zámku vrásky)
- 6) BA – 24 (kalcitová žíla z oblasti u zámku vrásky)
- 7) BA – 22 (kalcitová žíla prostupující napříč několika vrstvami horniny)
- 8) BA – 15 (kalcit vyplňující schránku orthocera)
- 9) BA – 6 (ploché krystaly záhnědy o velikosti do 1 cm)

Ve všech vzorcích byly identifikovány fluidní inkluze obsahující uhlovodíky, nebo jejich směs s vodou, zatímco čistě vodné inkluze byly poměrně vzácné. Z hlediska popisného lze tyto inkluze rozdělit na:

hc(LV) – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou

hc(L) – jednofázové kapalně inkluze uhlovodíků

hc(V) – jednofázové plynné inkluze uhlovodíků

w(LV) – vodné dvoufázové plynokapalně uzavřeniny bohaté kapalinou

w(L) – vodné jednofázové kapalně inkluze.

Vzorek: BA-11

Makropopis:

Asi 10 cm mocná kalcitová subvertikální žíla směru S-J nacházející se v SV části (konci) lomu. Žíla prochází napříč celou lomovou stěnou (všemi vrstvami) a je doprovázena výraznými tektonickými ohlasy a drobnějšími zpeřenými žilkami tahového charakteru. Vzorek použitý pro studium fluidních inkluzí představoval část žilné výplně – velký štěpný agregát masivního bílého kalcitu (mocnost 3 cm), který obrůstal růstové zóny staršího kalcitu tmavšího vzhledu, patrně s impregnací organického pigmentu.

Mikropopis:

Masivní kalcit, zrno přes celý výbrus, bez zjevného krystalografického omezení. V jednom rohu preparátu se vyskytuje růstová zóna lemovaná organickým pigmentem (patrně jádro, či starší růstová zóna celého krystalu/zrna) – tuto část budu dále v textu označovat jako jádro krystalu. Částice pigmentu mají velikost asi 0,005 mm a jsou velmi hojné. V menší míře se v této zóně vyskytují drobná opakní zrna (pyrit?). Fluidní inkluze nebyly v zóně s pigmentem pozorovány. Masivní kalcit je výrazně porušen štěpnými frakturami.

Fluorescence:

Fluorescence uhlovodíků, či jejich stop, ve fluidních inkluzích u tohoto vzorku nebyla zjištěna. To může znamenat přítomnost pouze čistě vodných fluid, nebo také to, že koncentrace uhlovodíků je tak nízká, že fluorescence je prakticky nezjistitelná. Z těchto důvodů jsou všechny inkluze řazeny pouze k vodnému typu (w).

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny pouze dva typy inkluzí: i) **w(LV)** – vodné dvoufázové plynokapalně uzavřeniny bohaté kapalinou a ii) **w(L)** – vodné jednofázové kapalně inkluze.

Většina inkluzí se vyskytuje na plochách (trailech) paralelních se štěpností kalcitu. U těchto inkluzí lze obtížně posoudit jejich genetický typ (primární vs. sekundární). Část inkluzí je vázána na růstové zóny, ty lze považovat za primární. Největší část inkluzí je vázána na traily, které jsou kosé vůči

plochám štěpnosti kalcitu a lze je proto s jistotou považovat za sekundární. Stupeň zaplnění (F) inkluzí w(LV) typu je asi 0,95.

Měřené asociace:

FIA-01 (úlolek č. 1)

Obsahuje inkluze obou typů, pochází z vnější zóny. Trail, patrně sekundární, se skládá z tmavších inkluzí s viditelnou bublinkou (F: 0,95), bublinku obsahují všechny fluidní inkluze, mají homogenní stupeň zaplnění. Většina inkluzí je oválných. Při zahřívání se bublinka postupně zmenšovala, finální homogenizace byla špatně vidět. Většina inkluzí zhomogenizovala při 69 až 80 °C na kapalinu.

FIA-02 (úlolek č. 2, oblast A)

Převažují protáhlé „ostrohranné inkluze“ paralelní se štěpností, velké asi 5-15 μm , stupeň zaplnění 0,95. Inkluze č. 1 vypadala, že obsahuje také pevnou fázi, po roztání ledu se uvnitř inkluze udělal souvislý tmavší okraj (uhlovodíky?).

FIA-03 (úlolek č. 2, oblast B)

Ploché inkluze zubovitého až protáhlého tvaru. Shodný stupeň zaplnění ve všech inkluzích 0,95. Inkluze jsou kosé na štěpnost.

FIA-04 (úlolek č. 3, oblast A)

Trail paralelní se štěpností, inkluze w(LV) typu různých tvarů (ploché, podlouhlé zakřivené, kapičkovité). Všechny inkluze obsahovaly bublinku (F: 0,95).

FIA-05 (úlolek č. 3, oblast B)

Inkluze w(LV) typu, některé z nich jsou paralelní se štěpností. Inkluze různých tvarů, některé měly po vymražení nahnědlý obsah.

FIA-06 (úlolek č. 4)

Nejstarší růstová zóna ve vzorku („jádro“). Zóna obsahovala hojné pevné (kalcitové?, organická hmota, opakní fáze) a málo četné fluidní inkluze (obvykle tmavé, neměřitelné). U hranice růstové zóny (směrem do jádra krystalu) byly rozpoznány tři měřitelné primární w(LV) inkluze.

FIA-07 (úlolek č. 5)

Sekundární inkluze, jedna z nich s pevnou organikou(?).

FIA-08 (úlolek č. 6)

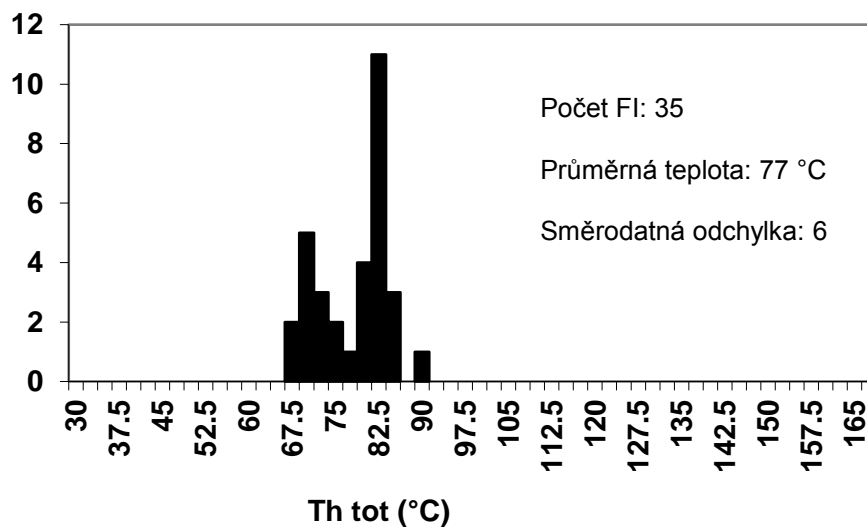
Trail tmavších sekundárních fluidních inkluzí, měřena byla jen ta největší.

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny w(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Není výrazný rozdíl v T_h či v $T_{m_{ice}}$ sekundárních a primárních inkluzí. Stupeň zaplnění měly všechny inkluze stejný, tj. 0,95. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1. a Obr. 11.

FIA	Gen.	Typ	Tf (°C)	Ti (°C)	Tm-ice (°C)	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
1	S	w(LV)	-36	-18,6	-0,2 až -0,1	66 až 78	72,7	7
2	P	w(LV)	-43	-19	-0,2	68,5 až 74	71,3	2
3	S	w(LV)	-39,5	-19,6	-	80,1 až 81	80,7	6
4	P	w(LV)	-	-	-	71,5 až 83,3	77,2	6
5	P	w(LV)	-36 až -39	-19,9	-	80,5 až 84,2	82,3	8
6	P	w(LV)	-38	-	-	67,3 až 69,9	68,3	3
7	S	w(LV)	-39 až -39,4	-	-	75 a 79	77	2
8	S	w(LV)	-36,6	-	-	81,5	81,5	1

Tab. 1. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-11.



Obr. 11. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-11.

Vzorek: BA-51B

Makropopis:

Subhorizontální asi 20 cm mocná žíla masivního a krystalického kalcitu z lokality Pecoldovy lomy. Masivní bílý hrubě štěpný kalcit přes celý výbrus.

Mikropopis:

Homogenní zrno bez zjevných růstových zón.

Fluorescence:

Místy byla lehce viditelná paralelně se štěpností. Barva fluorescence je světle modrá ve FI, intenzita velmi nízká.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny tři typy inkluzí: i) **w(LV)** – vodné dvoufázové plynokapalné uzavřeniny bohaté kapalinou, ii) **w(L)** – vodné jednofázové kapalné inkluze a iii) **hc(L)** – jednofázové kapalné inkluze uhlovodíků. Většina inkluzí se vyskytuje na plochách (trailech) paralelních se štěpností kalcitu. U těchto inkluzí lze obtížně posoudit jejich genetický typ (primární vs. sekundární). Část inkluzí je vázána na traily, které jsou kosé vůči plochám štěpnosti kalcitu a lze je proto s jistotou považovat za sekundární. Stupeň zaplnění w(LV) inkluzí je asi 0,95.

Měřené asociace:

FIA-09 (úlolek č. 1)

Obsahoval větší inkluze, na kterých se daly měřit teploty vymrznutí. Teploty iniciálního tání a teploty tání posledního krystalu ledu se nedaly doměřit, jelikož bublinky zmizely a neobjevily se už při dalším zmrazení a zahřátí (měřeno přibližně od -40 do 40 °C).

FIA-10 (úlolek č. 2, oblast A)

Obsahoval možné primární inkluze v levém horním rohu i v pravém dolním rohu. Mezi nimi se vyskytovaly traily sekundárních inkluzí.

FIA-11 (úlolek č. 2, oblast B)

Sekundární trail inkluzí podlouhlých a oválných tvarů.

FIA-12 (úlolek č. 2, oblast C)

Sekundární trail inkluzí různých tvarů. Vyšší teploty homogenizace oproti jiným inkluzím v tomto vzorku. Nejspíše se do něj dostala i jedna možná primární inkluze, protože má teplotu homogenizace vyšší než ostatní v trailu (145,1 °C).

FIA-13 (úlolek č. 2, oblast D)

Sekundární trail obsahující plochou inkluzi s bublinkou, která se pohybovala za pokojové teploty. Vzorek obsahoval i oblast, která vypadala, že zahrnuje i primární inkluze.

FIA-14 (úlolek č. 2, oblast E)

Trail inkluzí čtvercového tvaru, které vzhledem připomínají primární inkluze a oproti jiným inkluzím v tomto vzorku mají vysoké teploty homogenizace (142 °C).

FIA-15 (úlolek č. 3, oblast A)

Smíšený typ inkluzí v rámci jedné skupiny: w(LV) převažuje nad hc(LV). Velikost inkluzí 3-15 μm. Tvar nepravidelný, protažený, někdy paralelní se štěpností. Geneze nejasná. Po homogenizování a ochlazení již nedošlo k opětovné nukleaci bublinky.

FIA-16 (úlolek č. 3, oblast B)

Sekundární trail oválných inkluzí.

FIA-17 (úlolek č. 3)

Sekundární trail složený z plochých inkluzí.

FIA-18 (úlolek č. 3)

Sekundární trail inkluzí různého tvaru.

FIA-19 (úlolek č. 6, oblast A)

Velký trail uprostřed vzorku složený z malých hc(L) a hc(V) inkluzí oválných tvarů s homogenním stupněm zaplnění (0,95), které všechny zhomogenizovaly zároveň (70,3 °C).

FIA-19 (úlolek č. 6, oblast B)

Inkluze bochníkovitého tvaru s bublinkou.

FIA-20 (úlolek č. 6, oblast C)

Paralelně rýhovaná inkluze s velkou bublinou ležící mimo trail, na které se měřila teplota tání ledu. Po měření tání ledu se velikost bubliny zvětšila dvakrát oproti tomu, jak vypadala původně.

FIA-21 (úlolek č. 7)

Skupina paralelních trailů s inkluzemi paralelními se štěpností. Změřena byla jedna neporušená s bublinkou.

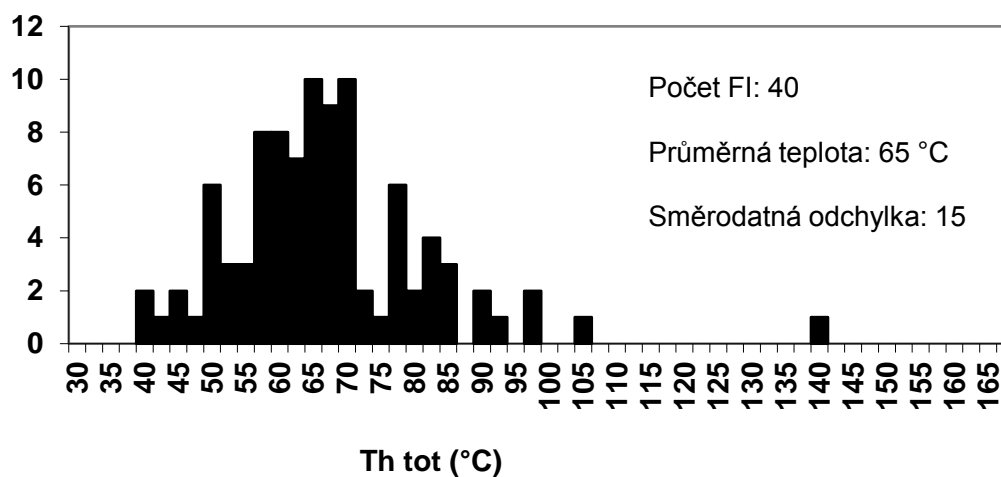
Shrnutí mikrotermometrie:

Ve vzorku se daly podle teplot homogenizace dobře rozlišit tři skupiny inkluzí (fluid): první od 60 do 85 °C, druhá skupina od 95 do 120 °C a třetí skupina od 130 do 150 °C.

Převažoval w(LV) typ FI nad hc(LV) typem, FI homogenizovaly na kapalinu a měly podobný stupeň zaplnění (0,95). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2. a Obr. 12.

FIA	Gen.	Typ	Tf (°C)	Ti (°C)	Tm-ice (°C)	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	N
09	P	w(LV)	-33,7	-	-	-	-	1
10	P, S	w(LV)	-38,3	-	-	96,8 až 112,4	102,7	4
11	S	w(LV)	-	-	-	96,6 až 111,4	105,2	3
12	P, S	w(LV)	-	-	-	111 až 145,1	124,3	3
13	P, S	w(LV)	-	-	-	129,9 až 135	123,1	4
14	P	w(LV)	-	-	-	142,1	142,1	1
15	S	w(LV)	-	-	-	64,2 až 67,4	65,9	4
16	S	w(LV)	-	-	-	95,2 až 97,8	96,5	5
17	S	w(LV)	-	-	-	70,2 až 73,5	72,8	4
18	S	w(LV)	-	-	-	70,1	70,1	1
19	P, S	w(LV)	-	-	0,1 až 0,3	70,3 až 74,8	71,1	8
20	P	w(LV)	-38	-18,5	-0,7	-	-	1
21	S	w(LV)	-	-	-	-	-	1

Tab. 2. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-51B.



Obr. 12. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-51B.

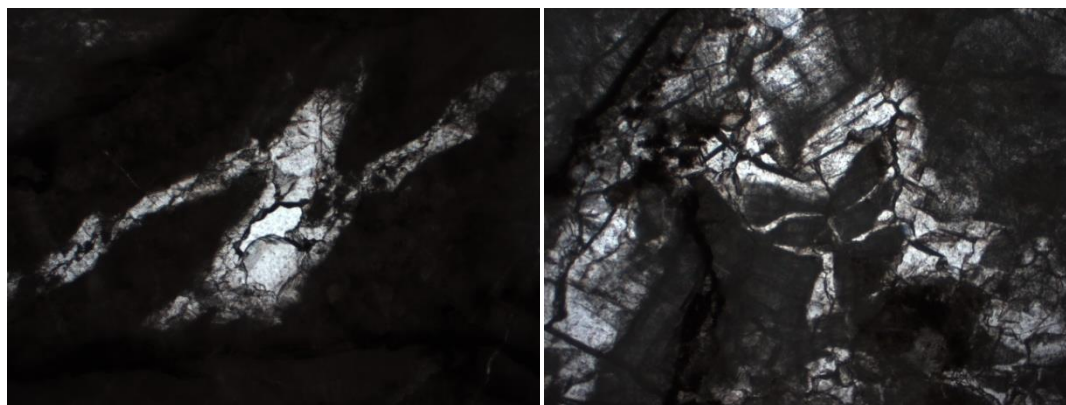
Vzorek: BA-23

Makropopis:

Asi 3 cm mocná „ložní“ žíla tmavého kalcitu typu „beef calcite“ nacházející se ve vráse v centrální části lomu. Agregáty bílého kalcitu mají tabulkovitý tvar, navzájem jsou uspořádány chaoticky, „doškovitá“ stavba, která je vidět v dalším vzorku transparentního „beef“ kalcitu BA-26 není v tomto vzorku patrná. Prostory mezi bílým kalcitem jsou zaplněny tmavou hmotou – tmavším kalcitem (s hojnými fluidními inkluzemi) a patrně též organickou hmotou.

Mikropopis:

Vzorek obsahuje dva až tři typy kalcitu: i) masivní špatně transparentní (nejhojnější), ii) transparentní a iii) přechodný (nejméně hojný) typ. Masivní (makroskopicky špinavě bílý) kalcit je nevhodný pro pozorování FI, obsahuje velké množství inkluzí o velikosti kolem 1 μm , jeho hmota je našedlá, jen slabě průsvitná. Jeho agregáty/zrna jsou nesouvisle lemována tenkým povlakem organické hmoty (místa i sulfidy). Transparentní kalcit (drúzový sparit) (Obr. 13) proniká masivním kalcitem i organickou hmotou podél trhlin, či podél hranic zrn. Jeví se tak jako mladší. Zdá se, že také vyplňuje původní volné prostory mezi agregáty masivního kalcitu. V některých partiích lze vidět, že zrna transparentního kalcitu obsahují jádra/zóny bohaté fluidními inkluzemi. Tyto oblasti mají výrazně tmavší vzhled než transparentní oblasti, označují je proto jako „přechodný typ“. FI lze měřit pouze v transparentním, či v přechodném kalcitu.



Obr. 13. Průhledná kalcitová žíla v „beef“ kalcitu. Zvětšeno 10x.

Fluorescence:

Velmi hojná a výrazná. Pomocí fluorescence bylo zjištěno, že všechny fluidní inkluze obsahují ropné uhlovodíky. Daly se velmi dobře odlišit tři barevné variety fluorescence: světle modrá, světle zelená a světle žlutá (viz Obr. 14). Nejčastěji se objevovaly FI se světle modrou a žlutou fluorescencí.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou se stupněm zaplnění kolem 0,95 a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalně inkluze uhlovodíků.

Měřené asociace:

FIA-22 (úlolek č. 1)

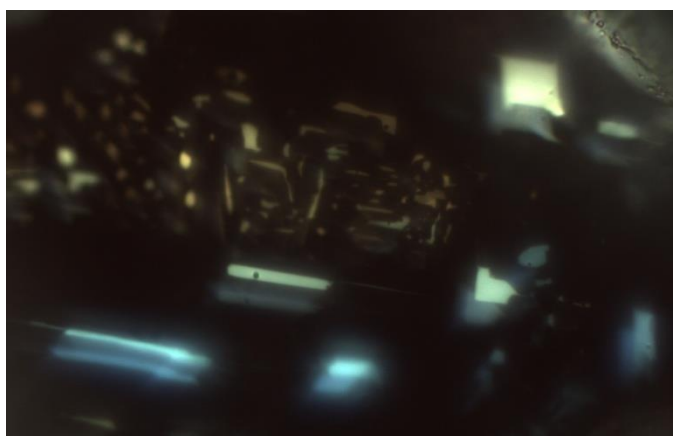
Průhledný kalcit s přechodným typem kalcitu. Měřen byl dlouhý sekundární trail.

FIA-23 (úlolek č. 2)

Průhledný kalcit s přechodným typem kalcitu s velkým množstvím malých hc(LV) inkluzí se stejným stupněm zaplnění.

FIA-24 (úlolek č. 3, oblast A)

Průhledné kalcitové zrno obsahující „černé“ skupinky inkluzí v centrální části. Obsahuje větší množství hc(L) inkluzí, rozlišeny fluorescencí (Obr. 14). Nízké teploty homogenizace.



Obr. 14. Fluorescence uhlovodíků v inkluzích vyvolaná excitací v UV světle.

FIA-25 (úlolek č. 3, oblast B)

Průhledné kalcitové zrno obsahující inkluze s homogenním stupněm zaplnění, homogenizovaly současně za nízkých teplot.

FIA-26 (úlolek č. 4)

Průhledné kalcitové zrno obsahující velký trail inkluzí s velkými bublinami, které se pohybovaly za pokojové teploty. Obsahuje ploché sekundární inkluze.

FIA-27 (úlolek č. 5, oblast A)

Dvoufázové inkluze čtvercového tvaru v přechodném typu kalcitu. Jedna inkluze obsahuje pevnou fází.

FIA-28 (úlolek č. 5, oblast B)

Velké ploché inkluze v průhledném kalcitu.

FIA-29 (úlolek č. 5, oblast C)

Průhledné kalcitové zrno obsahující spoustu trailů hc(LV) inkluzí. Úlolek vymražen do -130 °C, při ochlazení pod nulu se bublinky postupně zvětšovaly. Okolo -120 °C v několika inkluzích bublinka zčernala (CO₂?). Inkluze nevypadaly, že by úplně vymrzly, deformovaly se buď do „elipsy“, nebo vypluly s další bublinkou, která se při vymrazování ztratila.

FIA-30 (úlolek č. 5, oblast D)

Průhledné kalcitové zrno s hc(LV) inkluzemi protáhlých tvarů.

FIA-31-33 (úlolek č. 6, oblast A, B, C)

Přechodný až tmavý typ kalcitu obsahující velké množství inkluzí různých tvarů s pohybující se bublinkou.

FIA-34 (úlolek č. 7)

Krátký trail v průhledném kalcitu u neprůhledné části. Nízké teploty homogenizace (do 50 °C).

FIA-35 (úlolek č. 8)

Kalcitové průhledné zrno.

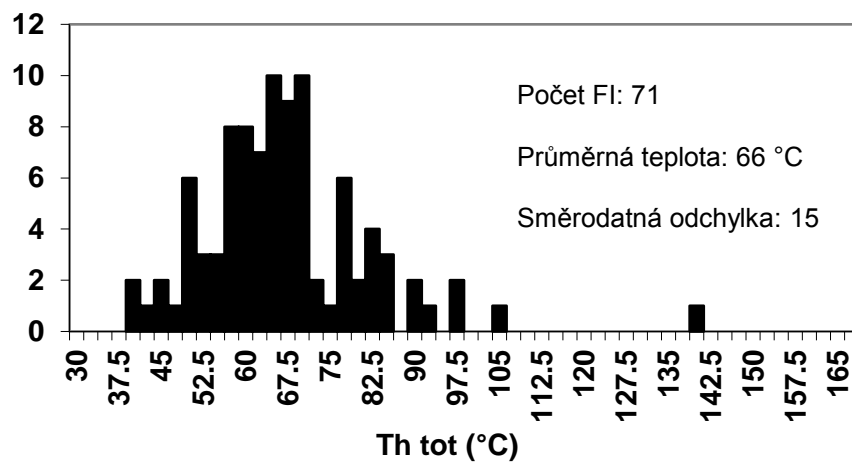
Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu, stupeň zaplnění 0,95. Ploché a nepravidelné inkluze jsou nejspíše všechny sekundární. Inkluze z tmavého kalcitu pochází patrně z jiného fluida než inkluze z průhledného kalcitu, bohužel se ty v tmavém nepodařilo změřit kvůli špatné viditelnosti. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3. a Obr. 15.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
22	hc(LV)	S	64,3 až 67,6	65,9	5
23	hc(LV)	S	61,7 až 64,7	63,2	6
24	hc(LV)	S	50,2 až 58,6	56,3	3
25	hc(LV)	S	55,2 až 55,7	55,3	7
26	hc(LV)	S	77,3 až 78,3	77,8	2
27	hc(LV)	P, S	57,2 a 96,5	76,9	2
28	hc(LV)	P, S	82,6 až 96,2	90,3	3
29	hc(LV)	S	48,6 až 68,6	59,6	11
			77 až 85	79	7
30	hc(LV)	S	48,2 až 51,2	49,7	2
31	hc(LV)	S	58,8 až 66,4	61,7	3

32	hc(LV)	S	59,6 až 68,2	62,9	7
33	hc(LV)	S	48,4 až 61,4	57,2	4
		P?	80,2 a 89,4	84,8	2
34	hc(LV)	P	139,9	139,9	1
35	hc(LV)	S	58,3 až 81,8	69	6

Tab. 3. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-23.



Obr. 15. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-23.

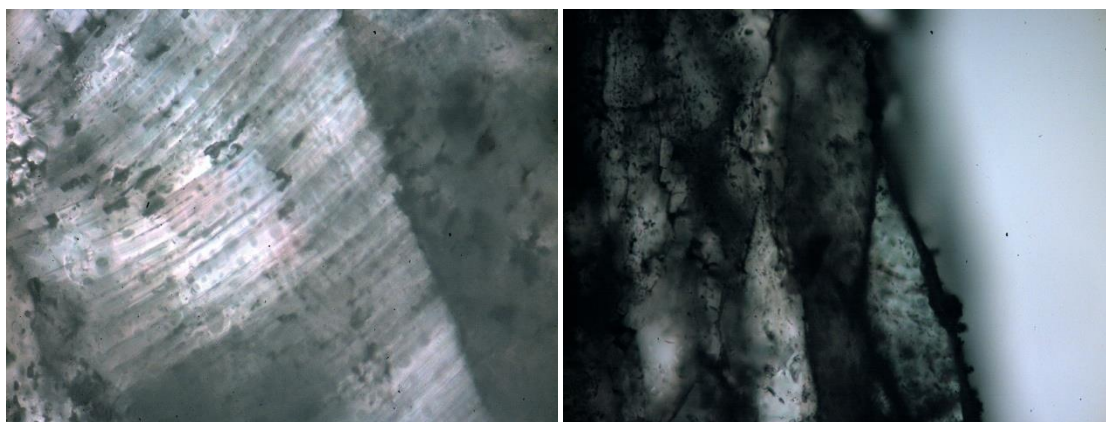
Vzorek: BA-26

Makropopis:

Asi 0,5 cm mocná subvertikální žilka krystalického kalcitu (Obr. 2a). Průhledné agregáty kalcitu mají tabulkovitý tvar, navzájem jsou uspořádány usměrněně („doškovitě“). Kalcitová žilka je ohraničena tmavou hmotou – tmavším kalcitem (s hojnými fluidními inkluzemi) a organickou hmotou.

Mikropopis:

Vzorek obsahuje dva typy kalcitu: i) transparentní a ii) přechodný typ (zóny bohaté FI). Transparentní kalcit je paralelně ohraničen zrny tmavšího kalcitu, který místy obsahuje organickou hmotou podél trhlin nebo hranic zrn (Obr. 16b). FI lze měřit pouze v transparentním kalcitu.



Obr. 16. Detail kalcitové žiloviny: a) transparentní a přechodný typ kalcitu, b) zrna kalcitu lemovaná organickou hmotou.

Fluorescence:

Velmi hojná. Nejvíce převládaly FI dvou barev fluorescence - světle modré a světle žluté. FI tvořily hojné sekundární traily, které se navzájem protínaly. Nejlépe se daly pozorovat v transparentních kalcitových zrnech.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou (stupeň zaplnění 0,95) a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalně inkluze uhlovodíků.

Měřené asociace:

FIA-36 (úlolek č. 1)

FI u okraje tmavé zóny.

FIA-37 (úlolek č. 2)

Sekundární trail v „doškovitém“ kalcitu.

FIA-38-39 (úlolek č. 3, oblast A, B, C)

Sekundární trail (A), velká FI (B) a FI paralelní se štěpností (C).

FIA-40-42 (úlolek č. 4)

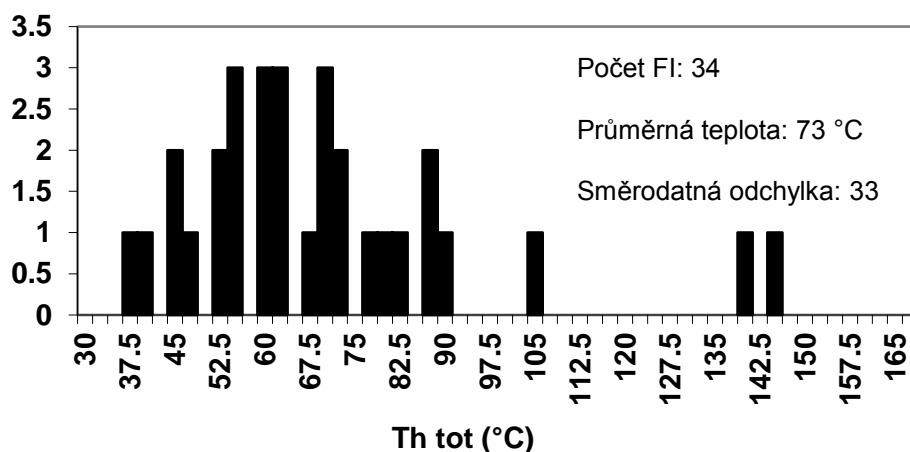
Transparentní kalcitové zrno obsahující dlouhý trail s dobře viditelnými průhlednými FI. Vzorek při zahřívání nad 120 °C začal lehce prskat. Měřila jsem až do 145 °C, jelikož obsahoval tři FI, které homogenizovaly při vyšších teplotách než FI v ostatních vzorcích.

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Není výrazný rozdíl v Th sekundárních a primárních inkluzí. Stupeň zaplnění měly všechny inkluze stejný, tj. 0,95. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4. a Obr. 17.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
36	hc (LV)	PS	75,1 až 80,4	78	3
37	hc (LV)	S	61,7 a 69,7	65,7	2
38	hc(LV)	P, S	59,7 až 71,7	65,8	3
39	hc(LV)	P	45,4 až 88,4	65,6	5
40	hc(LV)	P, S	51,6 až 144,4	76,3	11
41	hc(LV)	S	68,2 až 72,4	70,3	4
42	hc(LV)	P, S	72,6 až 91,2	68,2	6

Tab. 4. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-26.



Obr. 17. Histogram teplot homogenizace w(LV) inkluzí ze vzorku BA-26.

Vzorek: BA-21

Makropopis:

Strmě ukloněná kalcitová žíla ze zámku vrásky ve střední části lomu, která prochází přes několik vrstev. Mocnost žíly přibližně 2 cm. V žíle samotné i v jejím okolí jsou hojné tektonické striace.

Mikropopis:

Vzorek obsahuje dva až tři typy kalcitu: i) masivní špatně transparentní (nejhojnější), ii) transparentní a iii) přechodný (nejméně hojný) typ. Masivní (makroskopicky špinavě bílý) kalcit je nevhodný pro pozorování FI, obsahuje velké množství inkluzí o velikosti kolem 1 μm , jeho hmota je našedlá, jen slabě průsvitná. Transparentní kalcit (drúzový sparit) proniká masivním kalcitem i organickou hmotou podél trhlin, či podél hranic zrn. Jeví se tak jako mladší. Zrna mají anhedrální tvar a vypadají, že tvořily kanálky pro proudění fluid. Zdá se, že také vyplňuje původní volné prostory mezi agregáty masivního kalcitu. V některých partiích lze vidět, že zrna transparentního kalcitu obsahují jádra/zóny bohaté FI. „Přechodný typ“ má výrazně tmavší vzhled než transparentní oblasti. Často zasahuje až do půlky zrn. FI lze měřit pouze v transparentním, či v přechodném kalcitu. Za zónou tmavého přechodného kalcitu v transparentním kalcitu (v tom stejném zrnu), se místy objevují výrazně větší inkluze (8-10 μm), které vypadají nedotčené deformací.

Fluorescence:

Velmi hojná. Převládaly světle modré FI nad světle žlutými. Nejlépe se daly pozorovat v transparentních kalcitových zrnech.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřené uhlovodíky bohaté kapalinou a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalné inkluze. Stupeň zaplnění 0,95 u měřitelných inkluzí. Spousta inkluzí vypadá postižená/porušená deformací, což se projevuje silně variabilním stupněm zaplnění. FI jsou v přechodných zónách namačkané na sebe a překrývají se. FI velmi malé, skoro až na hraně měřitelnosti (2-3 μm).

Měřené asociace:

FIA-43-44 (úlolek č. 1)

FIA primárních inkluzí obojího typu na rozhraní přechodný/transparentní kalcit.

FIA-45-46 (úlolek č. 1)

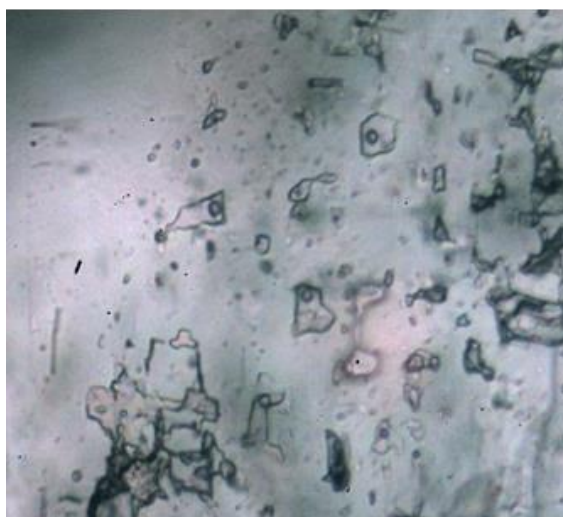
FIA primárních inkluzí obojího typu v přechodném kalcitu.

FIA-47-52 (úlolek č. 2-4)

FIA primárních inkluzí v transparentní zóně.

Shrnutí mikrotermometrie:

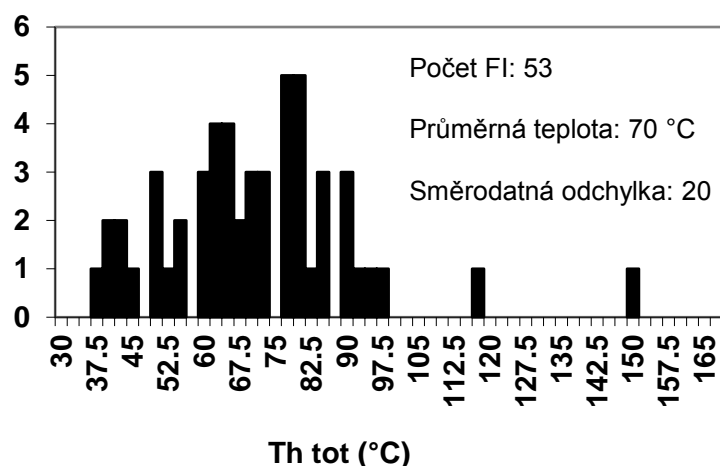
Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Celkově převládají hc(LV) inkluze nad hc(L). Všechny změřené FI klasifikují jako primární. Měřené inkluze měly stejný stupeň zaplnění (F), tj. 0,95. Ve vzorku se ale hojně vyskytovaly i FI postižené procesem „necking down“ (Obr. 18) s odlišnými stupni zaplnění, které záměrně nebyly studovány. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5. a Obr. 19.



Obr. 18. „Necking down“.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
43	hc(LV)	P	89,8 až 148	92,7	4
44	hc(LV)	P	78,5 až 117,1	86,9	4
45	hc(LV)	P	49,3 až 62,2	55,6	4
46	hc(LV)	P	68,3 až 89,0	76,6	5
47	hc(LV)	P	63,9 až 83,4	71	4
48	hc(LV)	P	69,0 až 83,7	74,6	4
49	hc(LV)	P	51,3 až 68,6	63,8	6
50	hc(LV)	P	48,6 až 79,2	64,9	5
51	hc(LV)	P	41,9 až 83,1	58,6	14
52	hc(LV)	P	58,3 až 79,8	71,6	3

Tab. 5. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-21.



Obr. 19. Histogram teplot homogenizace hc(LV) a w(LV) inkluzí ze vzorku BA-21.

Vzorek: BA-24

Makropopis:

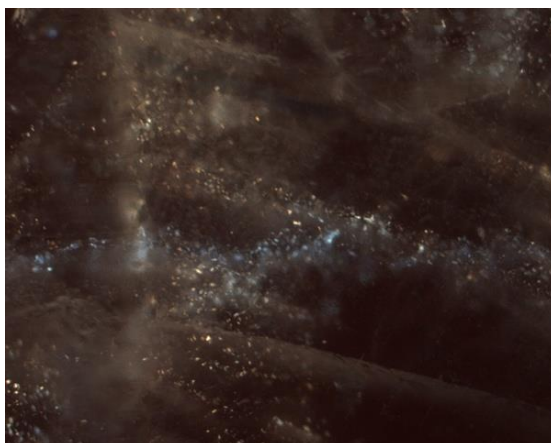
Drobná kalcitová žíla, kolmá na vrstevnatost, která však prostupuje jen přes vrstevní lavici. Pochází ze střední části lomu, z oblasti velké vrásky.

Mikropopis:

Vzorek je velmi podobný vzorku BA-21. Obsahuje stejné typy kalcitu: i) masivní špatně transparentní (nejhojnější), ii) transparentní a iii) přechodný (nejméně hojný) typ. V tomto vzorku je přechodný kalcit lehce zbarven dohněda, tudíž bych tuto oblast označovala jako „nahnědlou“. Masivní kalcit je nevhodný pro pozorování FI, obsahuje velké množství inkluzí o velikosti kolem 1 μm a je skoro neprůhledný. Transparentní drúzový sparit místy tvoří úplně čiré zóny, které tvoří krátké žilky a „očka“, zřejmě bývalé kanálky pro proudění fluid. Zrna mají opět anhedrální tvar a jde o nejmladší typ kalcitu. Na styku dvou zrn lze pozorovat lehké rozpouštění. V některých partiích lze vidět, že zrna transparentního kalcitu obsahují jádra/zóny bohaté FI, které také vypadají deformovaně jako v předchozím vzorku, ale o něco méně. FI lze měřit pouze v transparentním, či v přechodném kalcitu. „Nahnědlé“ zóny často zasahují až přes půlku zrn a utlačují transparentní kalcit velmi hustými FIA, ve kterých jde jen obtížně hledat skupinky inkluzí vhodné k měření. Za hranicí těchto zón se objevují osamocené velké inkluze (8-10 μm) oproti ostatním (3 μm), často bývají porušené.

Fluorescence:

Velmi hojná. Světle modré a světle žluté FI. Nejlépe se daly pozorovat v transparentních kalcitových zrnech. Přes celý vzorek se táhly jakoby dva pruhy barev indikující migraci dvou typů fluid (viz obr. 20).



Obr. 20. Dva typy fluid rozlišených fluorescencí. Zvětšeno 10x.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny tři typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou, ii) **hc(L)** – jednofázové kapalné inkluze uhlovodíků. Stupeň zaplnění 0,95 u měřitelných inkluzí. Spousta inkluzí vypadá postižená/porušená deformací, což se projevuje různým stupněm zaplnění.

Měřené asociace:

FIA-53 (úlolek č. 1)

Měřená dvě FIA ve dvou sousedících transparentních zrnech ze zóny tzv. „očko“, tj. čirý dorůstající kalcit tvořící kanálek uprostřed s dutinou, kudy proudila fluida, nebo je skoro zarostlý kalcitem. V každém zrně odlišné teploty homogenizace.

FIA-54-56 (úlolek č. 2)

Průhledná žilka mezi „nahnědlou“ zónou. Měřeno asi pět zrn. Podobné teploty homogenizace ve všech zrnech. Úlolek obsahoval řadu inkluzí paralelních se štěpností, které nešly měřit (bez bublin).

FIA-57 (úlolek č. 2)

FIA na okraji „nahnědlé“ zóny. Uvnitř ní je spousta FI porušená nebo špatně viditelná.

FIA-58 (úlolek č. 3)

Velké zrno asi původního kalcitu částečně oddělené prasklinou.

FIA-59-61 (úlolek č. 4)

Úplně průhledná kalcitová žilka s trailem sedmi FI. V jedné z nich bylo měřeno tání ledu. Při vymrazování asi při $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ se bublina zdeformovala (vymrazováno až do $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$). V -19 až $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ už probíhá tání, asi při $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ led roztál. Bylo to vidět špatně, bublinka se zpět vyrovnala, ale už se nehýbala. Dále úlolek obsahuje další FIA v čirých zónách.

FIA-62-63 (úlolek č. 5)

FIA v „nahnědlé zóně“ o podobných teplotách homogenizace. Na jejich okrajích velké inkluze.

FIA-64 (úlolek č. 5)

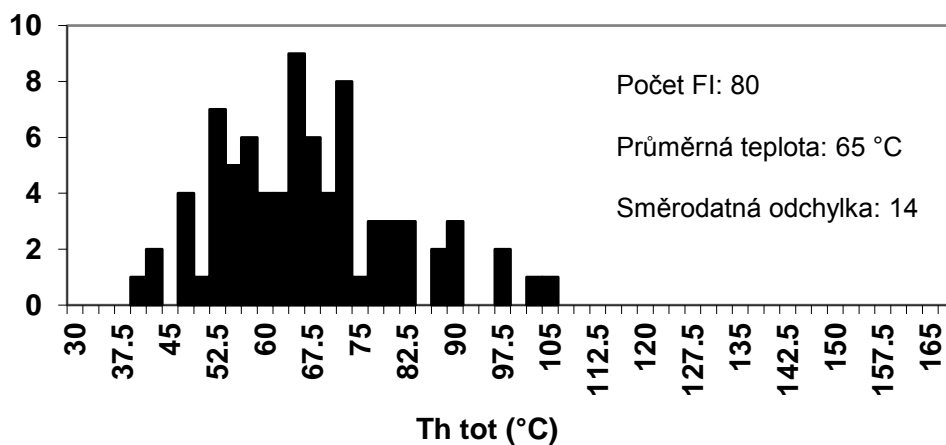
FI v průhledné zóně („očko“). Přítomnost velkého počtu FI typu hc(L).

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Typ hc(LV) převládá nad hc(L) typem. Primární FI odhadují jako ty, které se vyskytují v transparentních zrnech, sekundární jako ty, co lemují hranice mezi zrny. Měřené inkluze měly stejný stupeň zaplnění, tj. 0,95. Ve vzorku se hojně vyskytovaly i FI postižené procesem „necking down“. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 6. a Obr. 21.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
53	hc(LV)	P	50,9 až 95,2	63,5	5
54	hc(LV)	P	51,6 až 80,3	64,3	12
55	hc(LV)	P	47,3 až 103,1	69,2	9
56	hc(LV)	P	50,5 až 85,2	57,5	7
57	hc(LV)	P	61,2 až 95,5	73,7	4
58	hc(LV)	P	51,1 až 71,2	58,5	6
59	hc(LV)	P	51,0 až 78,8	65,1	9
60	hc(LV)	P	55,5 až 89,1	71,4	8
61	hc(LV)	P	52,8 až 89,3	66,2	11
62	hc(LV)	P	61,4 až 64,3	63,5	5
63	hc(LV)	P	47,1 a 59,8	53,5	2
64	hc(LV)	P	61,9 a 100,8	81,4	2

Tab. 6. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-24.



Obr. 21. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-24.

Vzorek: BA-22

Makropopis:

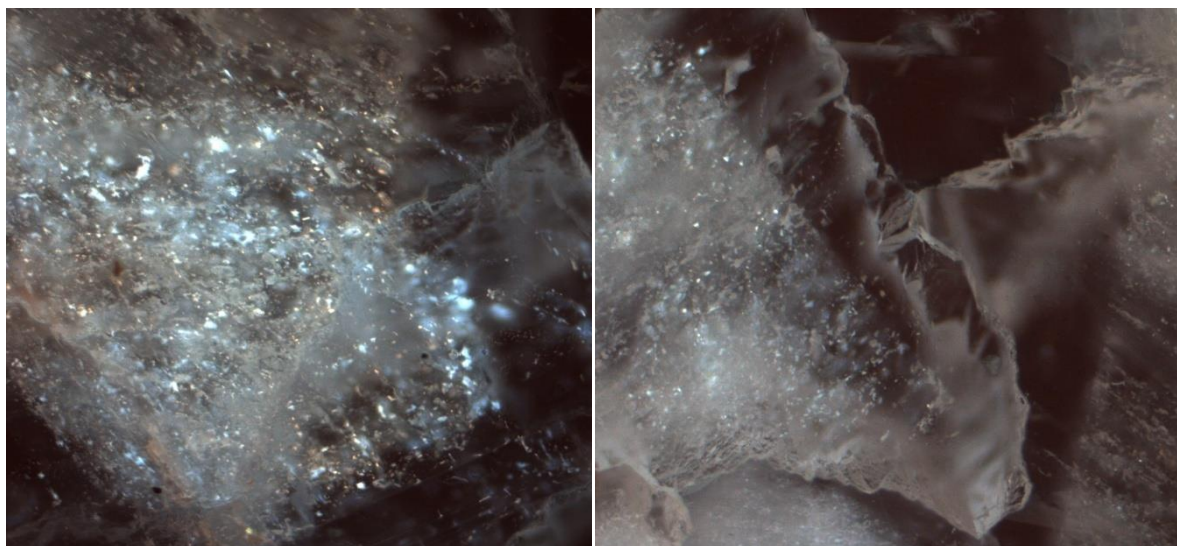
Strmě ukloněná kalcitová žíla o mocnosti kolem 2 cm, prostupující horninou napříč několika vrstvami.

Mikropopis:

Vzorek je velmi podobný vzorku BA-21. Obsahuje ale pouze: ii) transparentní a iii) přechodný (nejméně hojný) typ kalcitu. V tomto vzorku je přechodný typ lehce zbarven dohněda. Ve vzorku převažují skoro úplně transparentní kalcitová zrna. Zrna mají euhedrání tvar a jde nejspíše o nejmladší typ kalcitu. FI lze měřit pouze v tomto typu kalcitu. „Nahnědlé“ zóny přechodného kalcitu se vyskytují pouze u některých okrajů zrn a zdánlivě utlačují transparentní kalcit.

Fluorescence:

Velmi hojná. Světle modré a tmavě žluté až zlaté FI (viz Obr. 22a). Nejlépe se daly pozorovat v transparentních kalcitových zrnech (viz Obr. 22b).



Obr. 22. a) Fluidní inkluze pod UV světlem, b) přechodné zóny v kalcitu.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalné inkluze uhlovodíků. Stupeň zaplnění 0,95 u měřitelných inkluzí. FI v „nahnědlých“ zónách vypadají porušené deformací, jsou namačkané na sebe a překrývají se.

Měřené asociace:

FIA-65 (úlolek č. 1)

Velké ploché FI za okrajem „nahnědlé“ zóny.

FIA-66 (úlolek č. 2)

Sekundární trailly v transparentní zóně, protínány dalšími trailly. Některé obsahují porušené FI.

FIA-67 (úlolek č. 3)

Další sekundární trailly v průhledných zrnech. Mezi nimi odlišeny i samostatné primární inkluze.

FIA-68 (úlolek č. 4)

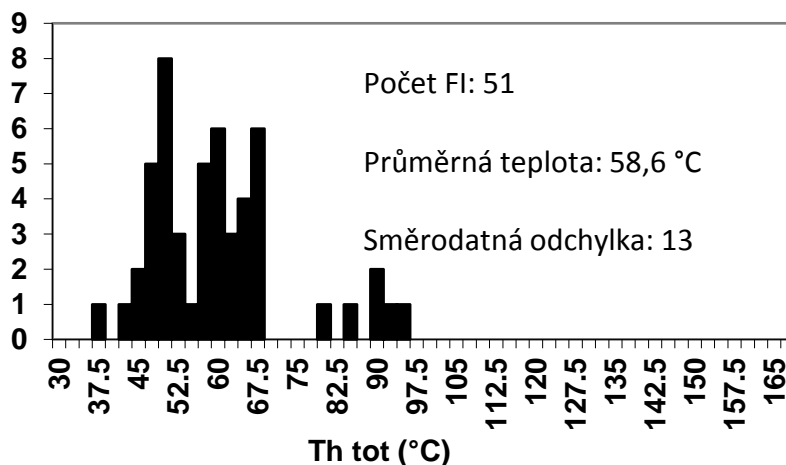
FIA v průhledném zru.

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Primární FI odhaduji jako ty, které se vyskytují na hranici „nahnědlý“– transparentní kalcit, sekundární jako ty, co tvoří sekundární trailly. Měřené inkluze měly stejný stupeň zaplnění, tj. 0,95, některé ho měly různý, proto nebyly měřeny, byly postižené procesem „necking down“. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7. a Obr. 23.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
65	hc(LV)	P	61,0 a 78,5	69,8	2
66	hc(LV)	S, P	55,5 až 93,1	66,9	19
67	hc(LV)	S	48,0 až 90,8	53,9	22
68	hc(LV)	S	47,4 až 57,7	48,9	8

Tab. 7. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-22.



Obr. 23. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-22.

Vzorek: BA-15

Makropopis:

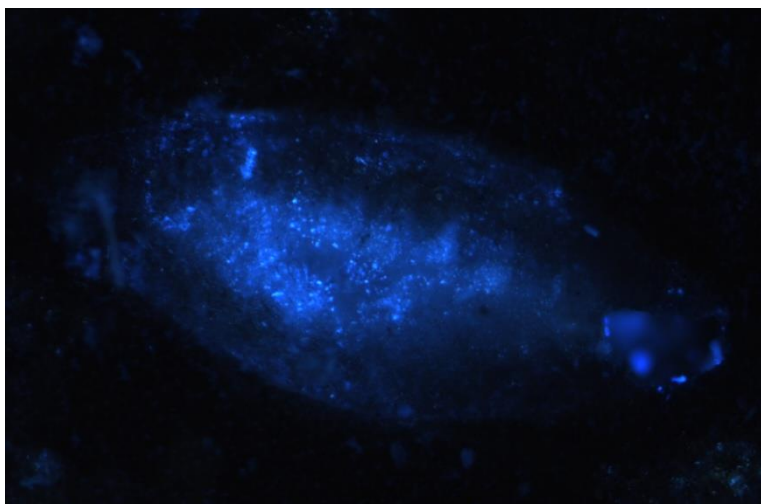
Úlomek vápence se schránkou orthocera. Inkluze byly měřeny v bílém kalcitu vyplňujícím schránku orthocera. Inkluze proto jsou velmi blízké podmínkám rané diagenese, kdy došlo ke vzniku tohoto kalcitového tmelu.

Mikropopis:

Bílý sparitový tmel ve schránce orthocera je tvořený xenomorfními zrny kalcitu. Okolní vápenec je tvořen tmavým kalcitem. Částice pigmentu jsou velmi hojné. Mají velikost asi 0,01 mm. Fluidní inkluze nebyly pozorovány mimo průhlednou zónu. V menší míře se vyskytují drobná opakní zrna (pyrit?). Transparentní kalcit je na některých zrnech porušen štěpnými frakturami.

Fluorescence:

Velmi hojná, pozorovatelná pouze v kalcitových schránkách měkkýšů (viz Obr. 24) a orthocera. Nejvíce převládaly FI dvou barev fluorescence - světle modré a světle žluté až světle hnědé.



Obr. 24. Uhlovodíkové FI pod UV světlem ve schránce měkkýše.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřené uhlovodíky bohaté kapalinou a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalné inkluze uhlovodíků. Největší počet inkluzí je vázán na schránky měkkýšů, uvnitř kterých tvoří husté traily, v okolní hornině se nachází jen zřídka. Stupeň zaplnění hc(LV) inkluzí je asi 0,95.

Měřené asociace:

FIA-69 (úlomek č. 1)

Schránka měkkýše, inkluze prostorově uspořádané. Jedna větší inkluze (ještě před tím než byla aplikována UV fluorescence) byla vymrazena byla do -135 °C. Při ochlazení nebyla vidět

deformace bubliny ani vznik ledu. Při zmražení většina bublin kulatých s tmavým lemem, velmi intenzivní pohyb bubliny od 28,2 do 32 °C. Většina inkluzí je hc(LV) typu.

FIA-70 (úlolek č. 2)

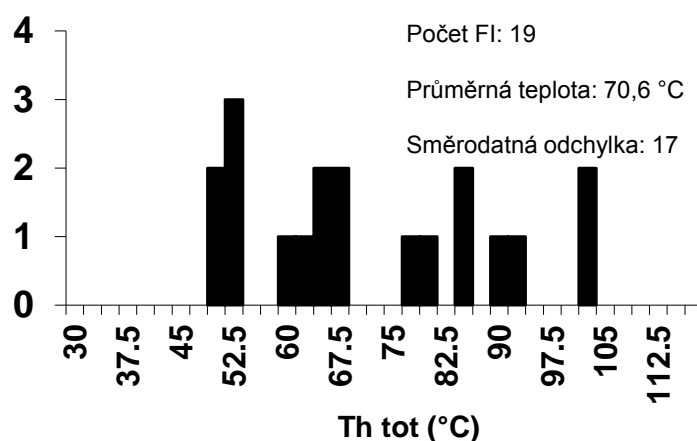
Jednotlivé FI zdánlivě 3D distribuované. Chování bublin stejné jako u předchozího úloleku.

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu a jsou odhadnuty jako primární, jelikož vzorek neobsahoval rozlišitelné trailly. Stupeň zaplnění měly všechny inkluze stejný, tj. 0,95. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8. a Obr. 25.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrné Th (°C)	n
69	hc(LV)	P	49,3 až 67,1	57,6	11
70	hc(LV)	P	78,6 až 102,3	88,4	8

Tab. 8. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku BA-15.



Obr. 25. Histogram teplot homogenizace hc(LV) inkluzí ze vzorku BA-15.

Vzorek: BA-6

Makropopis:

Vzorek ze sutě v JZ části lomu. Na puklinách kolmých k vrstevnatosti jsou hojné ploché krystaly záhnědy o velikosti do 1 cm, zčásti lemované kalcitem. Zrna záhnědy byla vyloužena pomocí zředěné HCl, zalita do pryskyřice a vyleštěna.

Mikropopis:

Z hlediska vzhledu lze vyčlenit dva typy záhnědy: i) transparentní a ii) přechodný typ. Transparentní záhněda je paralelně ohraničena záhnědou přechodného typu, která téměř neobsahuje organickou hmotu. Přechodným typem jsou myšleny nahnědlé zóny bez zjevných hranic zrn. FI se vyskytovaly pouze v transparentních zónách.

Fluorescence:

Velmi hojná. Pod UV světlem převládaly FI dvou barev - světle modré a světle žluté. Světle modré FI převažují. Nejlépe se daly pozorovat v transparentních zónách.

Fluidní inkluze:

V preparátu byly nalezeny dva typy inkluzí: i) **hc(LV)** – dvoufázové uzavřeniny uhlovodíků bohaté kapalinou a ii) **hc(L)** – jednofázové kapalně inkluze uhlovodíků. Největší část inkluzí je vázána na traily, které jdou zrnem kose a lze je proto s jistotou považovat za sekundární. Stupeň zaplnění hc(LV) inkluzí je asi 0,95.

Měřené asociace:

FIA - 71 (úlolek č. 1, oblast A)

Dva sekundární traily o dvou odlišných Th. Měřeno v nevyleštěném vzorku krystalu záhnědy.

FIA - 72-73 (úlolek č. 1, oblast B a C)

Trail plochých FI. Měřeno v nevyleštěném vzorku krystalu záhnědy.

FIA -74 (úlolek č. 2)

Osamocené velké ploché FI zhomogenizované při nízkých teplotách. Měřeno v nevyleštěném vzorku krystalu záhnědy.

FIA-75 (úlolek č. 1)

Průhledný úlolek záhnědy obsahující spoustu dvoufázových a jednofázových FI podlouhlých tvarů.

FIA-76 (úlolek č. 2, oblast A)

Sekundární traily obsahující FI o teplotách nižších a vyšších, což svědčí o dvou typech fluid.

FIA-77 (úlolek č. 2, oblast B)

Sekundární trailly složené z FI různých tvarů. U plochých FI vycházejí teploty vyšší než u ostatních.

FIA-78 (úlolek č. 3)

Sekundární trailly o různých hloubkách. Měřeno pět trailů.

FIA-79 (úlolek č. 4)

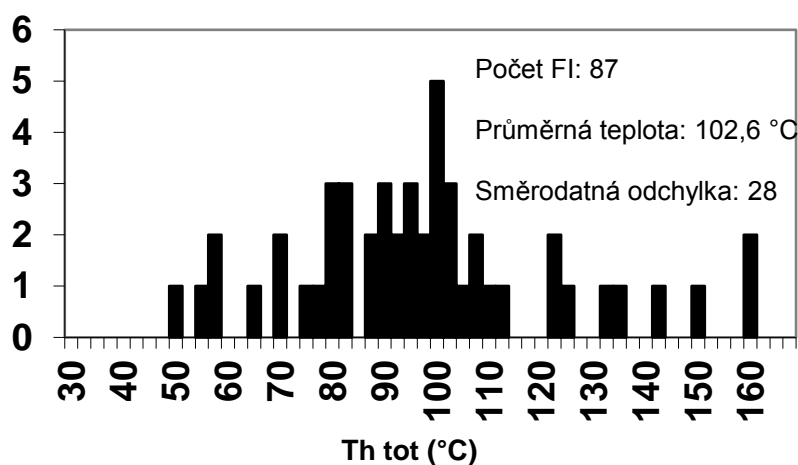
Pseudosekundární trailly. Th všech FI nad 100 °C.

Shrnutí mikrotermometrie:

Všechny hc(LV) inkluze homogenizují na kapalinu. Th by se daly rozdělit do skupinek nižších (60 °C) a vyšších (150 °C) teplot. FI tvořily hojné sekundární trailly, někdy bylo možno pozorovat i pseudosekundární. Stupeň zaplnění měly všechny inkluze stejný, tj. 0,95. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 9. a Obr. 26.

FIA	Typ	Gen.	Th (L) (°C)	Průměrná Th (°C)	n
71	hc(LV)	S	67,7 až 159,3	99,6	11
72	hc(LV)	S	87,7 až 134,2	112,2	5
73	hc(LV)	S	142,0 až 189,5	164,4	4
74	hc(LV)	P	54,8 až 68,3	60,8	4
75	hc(LV)	S	78,3 až 99,2	85,1	6
76	hc(LV)	P	55,9 až 149,1	90	9
77	hc(LV)	S	86,6 až 105,8	96	10
78	hc(LV)	S	60,4 až 143,6	97,3	24
79	hc(LV)	PS	101,8 až 149,5	125,3	14

Tab. 9. Shrnutí mikrotermometrických měření ve vzorku záhnědy BA-6.

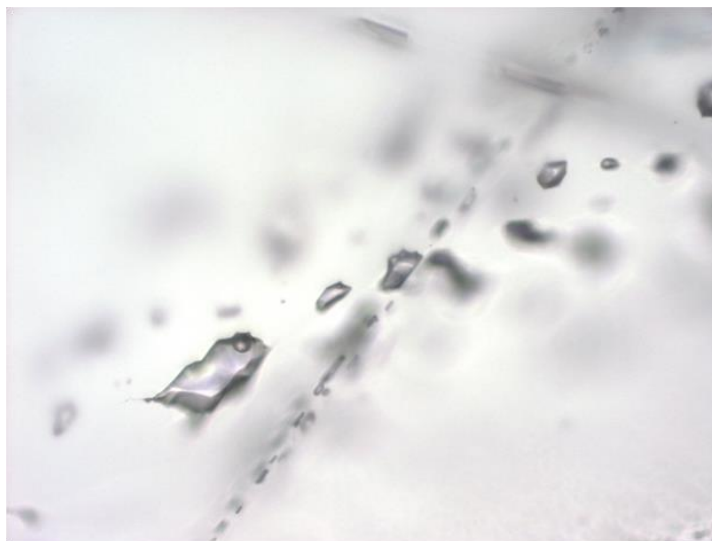


Obr. 26. Histogram teplot zahrnující všechny naměřené teploty homogenizace w(LV) a hc(LV) inkluzí ze vzorku záhnědy BA-6.

Shrnutí všech mikrotermometrických měření:

Genetický typ inkluzí (primární vs. sekundární) bylo možno jen obtížně posoudit. Th všech vzorků lze souhrnně rozdělit do dvou skupin. Ta nejpočetnější byla okolo teploty 70 °C a druhá od 90 do 160 °C (viz Obr. 26). FI v záhnědách homogenizovaly při vyšších teplotách než FI v kalcitech.

Největší množství FIA tvořily **hc(LV)**, méně pak **hc(L)**. Pouze jeden vzorek téměř neobsahoval ropné inkluze, ale jen typy **w(LV)** a minoritně i **w(L)**. Jednalo se o vzorek mocné kalcitové žíly (typ 4) vyplňující mladý zlom (Obr. 27).



Obr. 27. Sekundární trail w(LV) a w(L) inkluzí, ve větší hloubce inkluze w(L) paralelní se štěpností. Vzorek BA-11.

7 DISKUZE

7.1 Typy hydrotermálních žil v Žákově lomu

Sukcesi hydrotermálních žil v Žákově lomu řadím následovně (od nejstarších po nejmladší): 1) žíly typu „beef calcite“, 2) žíly s plochými krystaly záhnědy (kalcit vyskytující se společně se záhnědou je s největší pravděpodobností mladší než záhněda), 3) střížné žíly ve velké vráse, 4) velká žíla a doprovodné menší žíly v jejím okolí bezprostředně vázané na výrazný lokální zlom.

„Beef žíly“ se nejčastěji vyskytují paralelně s vrstevnatostí a vystupují na více místech, což svědčí o velkém laterálním rozšíření těchto žil, kterému podle Slobodníka et al. (2012) dopomohly vedle tektonické stavby také jíly obsažené v břidlicích, které způsobily nízkou propustnost okolního prostředí. Stejně jako Suchý et al. (2002) a Volk (2000) se domnívám, že žíly typu „beef calcite“ vznikly jako první ze všech žil při velkém pohřbení sedimentů.

Druhý typ, představuje hojné, málo mocné žíly (mm) s krystaly záhněd, které vyplňují pukliny přibližně kolmé na vrstevnatost. Jsou zřetelně mladší než prvý typ, který protínají. Jejich rozšíření

indikuje větší přísun fluid do oblasti dnešního Žákova lomu. Tento typ se nachází zejména při hlavní vráse, kde je protínán kalcitovou žilou mladšího typu.

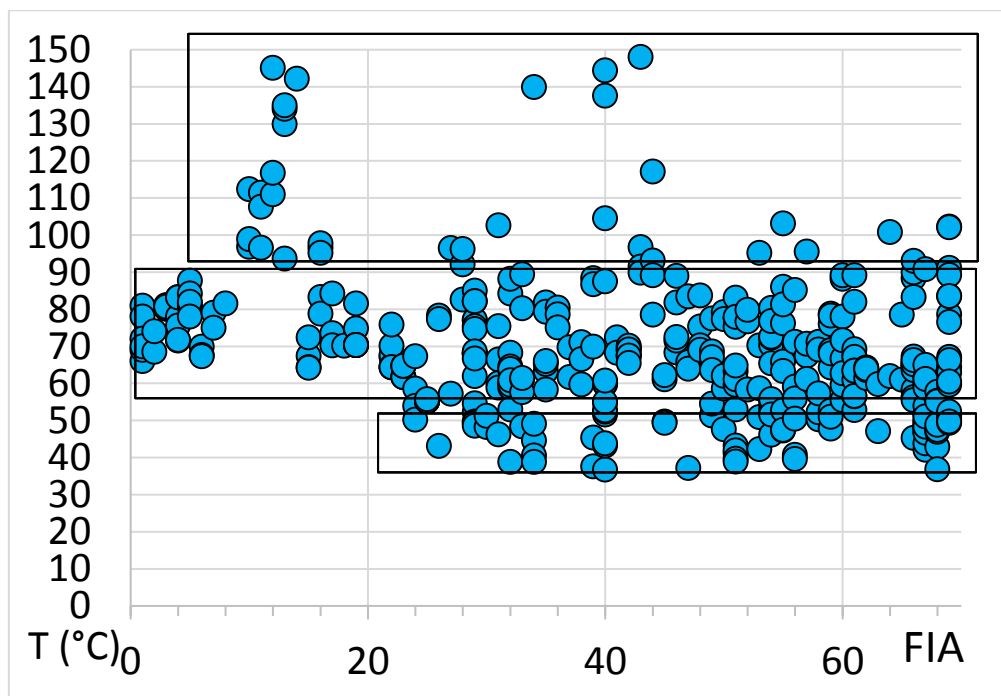
Krystaly záhněd jsou v Barrandienu celkem běžné, ale dosahují spíše mm rozměrů. Další idiomorfní krystaly větší jak cm byly nalezeny spolu s kalcitem na lokalitě lom Kosov (Suchý et al., 2002).

Střížné žíly patrně vznikly krátce po vzniku velké vrásky. Deformace byla nejspíše jen lokálního původu. Slobodník et al. (2012) se domnívají, že syntektonická fluidní migrace také přispěla k deformaci vrstev.

Vertikální žíly v okolí velkého zlomu jsou nejspíše povariské a uhlovodíková migrace je už moc nezasáhla. Malé tenké kalcitové žilky v jejich okolí nebyly zkoumány, ale předpokládám pro ně stejný původ.

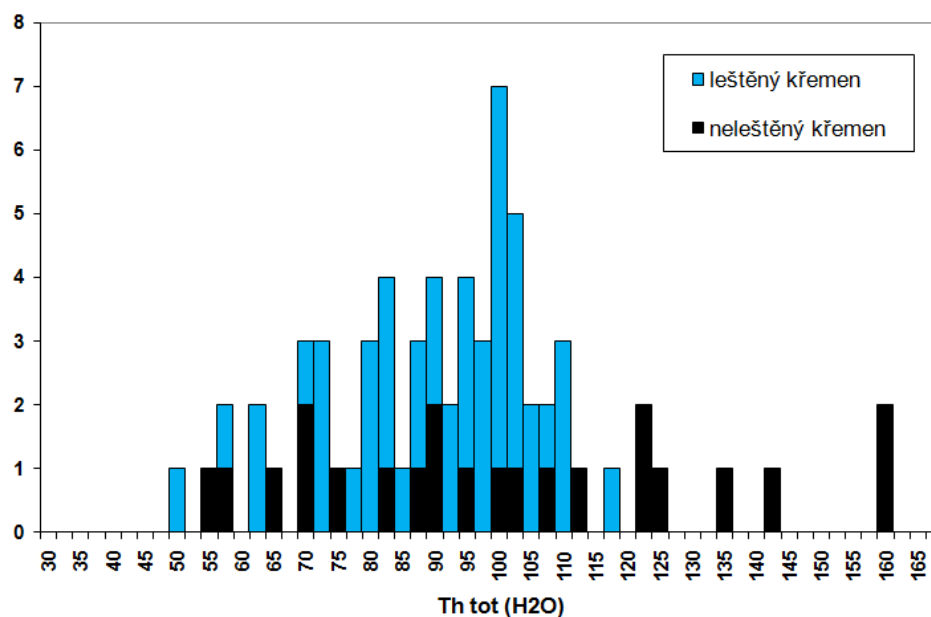
7.2 Podmínky vzniku hydrotermálních žil v Žákově lomu

Podmínky vzniku žil vychází z interpretace dat fluidních inkluzí z měření celkem 9 vzorků, z toho 8 vzorků (7 kalcitů, 1 záhněda) pocházelo z oblasti Žákova lomu a jeden vzorek (kalcit) z lokality Pecoldovy lomy. Teploty homogenizace fluidních inkluzí v kalcitu z jednotlivých studovaných asociací fluidních inkluzí (tzv. FIA) jsou souhrnně shrnuty na Obr. 28. Na obrázku jsou schematicky naznačeny tři skupiny teplot homogenizací: a) 40-55 °C, b) 60-90 °C a c) 95-155 °C, o nichž se domnívám, že představují tři samostatné generace fluid.



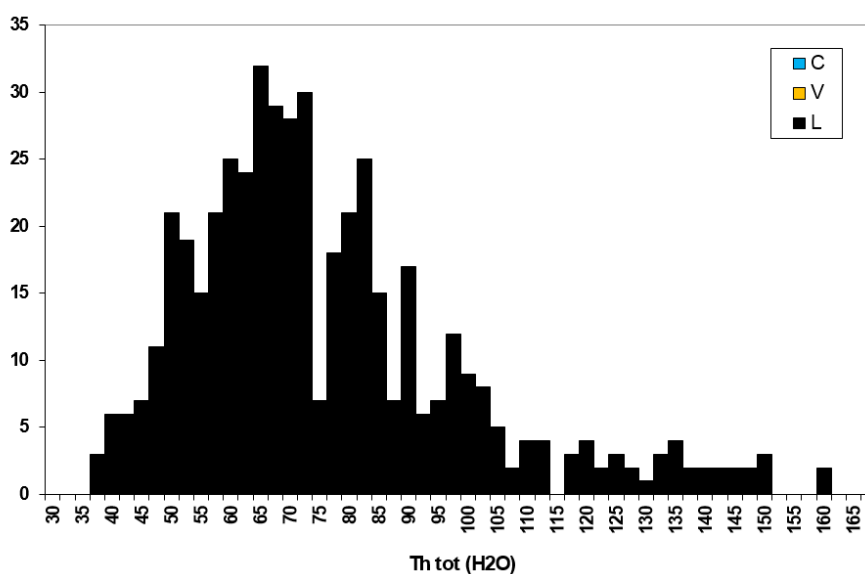
Obr. 28. Graf naznačující nejpočetnější skupinu dat (60- 90 °C) ze všech kalcitových vzorků. Vzorek z lokality Pecoldovy lomy se nachází mezi FIA 10-20.

Teploty homogenizace pro krystaly záhněd jsou uvedené samostatně v histogramu na Obr. 29. Záhnědy celkově obsahovaly větší FI (10 μm) než byly v některých kalcitech (3 μm).



Obr. 29. Výsledné teploty homogenizace všech inkluzí ze záhněd.

Teploty homogenizace inkluzí ze všech vzorků se pohybovaly od 37 do 160 °C (viz Obr. 30). Inkluze v kalcitových žilách homogenizovaly nejčastěji do 110 °C, zřídka až do 150 °C. Nejvíce jich zhomogenizovalo v rozmezí 60 až 90 °C. Nejvyšší naměřené Th pocházely z krystalů záhnědy, tj. okolo 160 °C. Všechny FI homogenizovaly na kapalinu. Vzorky ze žil typu 1, 2 a 3 obsahovaly pouze ropné inkluze (ověřeno fluorescencí). Inkluze ze žíly typu 4 (Žákův lom) a též ze vzorku z lokality Pecoldovy lomy obsahovaly naopak jen vodné inkluze. Teploty homogenizace vodných a ropných inkluzí jsou však podobné. Ojediněle změřené hodnoty teploty tání posledního krystalu ledu ve vodných inkluzích (T_{m-ice} -0,2 až -0,3 °C) odpovídají salinitě 0,4 hm. % NaCl ekv.



Obr. 30. Celkový souhrn všech FI. Největší naměřené množství FI v teplotách 65 – 73 °C.

Teploty homogenizace v rozsahu 100 – 160 °C reprezentují nehojné jednotlivé inkluze náhodně rozptýlené mezi inkluzemi s nižšími teplotami homogenizace. Jejich původ není jistý. Jsou dvě možnosti: a) tyto inkluze indikují ponoření hornin až do zóny plynokondenzátu. Podle (Tucker, 2001) jsou všeobecně standardní teploty ropného okna od 70 -100 °C při průměrném geotermálním gradientu v hloubkách 2-3,5 km, z toho vyplývá, že pohřbení vrstev bylo minimálně 2 km, tj. podmínka pro vstup uhlovodíků do fluid nebo b) se jedná o porušené inkluze a teploty homogenizace pak nemají žádnou vypovídající hodnotu. Vzhledem k malé velikosti měřených inkluzí a často špatné průhlednosti studované žiloviny lze mezi oběma hypotézami jen těžko rozhodnout. Vzhledem k izolovanému a náhodnému výskytu inkluzí s vyššími teplotami mezi ostatními inkluzemi se domnívám, že varianta, že se jedná o porušené inkluze, je pravděpodobnější. Pouze v jednom vzorku (lokalita Pecoldovy lomy) byly zjištěny systematicky se vyskytující skupiny inkluzí s teplotami homogenizace nad 100 °C.

Nejnižší teploty homogenizace (40-55 °C) odpovídají nejspíše podmínkám rané diagenese. Byly například změřeny i v kalcitovém tmelu vyplňujícím schránky fosilií. Nejpočetnější skupina teplot homogenizací (60-90 °C) odpovídá vzniku většiny studovaných žil a představuje hlavní etapu migrace fluid ve studované oblasti (epigenetická fluida). Jejich migrace by mohla souviset s nástupem variské komprese, doprovázené odvodněním a kompakcí sedimentárních hornin. V této fázi dochází i k migraci ropných uhlovodíků při teplotách 70 a 140 °C (přesahující hloubky ropného okna) z okolních bituminózních hornin.

Pokud jde o lokalitu Žákův lom a první tři typy kalcitových žil, pak lze konstatovat, že fluidní inkluze s uhlovodíky v jednotlivých typech žil se teplotou homogenizace buď neliší, nebo liší jen nepatrně. To by mohlo naznačovat, že všechny žíly – jak ty spjaté s diagenézí (typ 1) „beef calcite“, či typ 2 (záhněda), nebo ty spjaté se vznikem vrásky a její pozdější křehkou deformací (typ 3; střížné) vznikaly postupně v krátkém časovém období, za účasti stejného typu fluid a nelišily se významně ani teplotou tohoto fluida. Z hlediska složení fluid se tak odlišuje pouze poslední typ (4) žil (obsahuje pouze vodná fluida).

7.3 Fosilní organická hmota a uhlovodíky

V Žakově lomu byly uprostřed karbonátových konkrecí nalezeny zbytky organického uhlíku připomínající antracit, v žilách v kalcitových dutinách „voskové uhlovodíky“. Suchý et al. (2010) určili tyto materiály jako dva druhy bitumenů mm až cm mocnosti. Tento uhlík vznikl podle Suchého et al. (2002) termální přeměnou dispergovaných částic organické hmoty nejspíše odvozené z metamorfovaných hornin a transportovaných do hlubokovodních břidličných facií turbiditními proudy. V přídolském souvrství byla pomocí vitrinitové reflektance zjištěna průměrná hodnota odraznosti 1,02 % R_r, což odpovídá podmínkám zrání v ropném okně (Suchý et al., 1996).

„Voskové uhlovodíky“ připomínající oranžovo-hnědý „tuk“ byly již dříve rozpoznány (Suchý et al., 2000, 2010; Slobodník et al., 2009) a určeny jako pozůstatky pevných uhlovodíků. Jejich výskyt je

patrně spojen s finální fází uhlovodíkové migrace, avšak jejich zdrojová hornina zůstává neznámá (Volk, 2000).

Místy byl v žilách také nalezen i pyrit, což je vysvětlováno biodegradací ropy (Jensenius a Burrus, 1990 in Suchý, 2002), která probíhala díky přítomnosti bakterií redukujících sulfát.

7.4 Termální historie Barrandienu

Glasmacher et al. (2002) odhalili pomocí štěpných stop v apatitu (AFTA) čtyři stádia časově-teplotní evoluce sedimentů Barrandienu. První stádium je spojené se zahřátím vrstev během svrchního devonu až spodního karbonu díky procesům spojených s variskou orogenezí, druhé s chladnutím během karbonu způsobeným vynořováním některých vrstev, třetí dalším nárůstem teploty během spodního permu a poslední zase s chladnutím výzdvihem oblasti od mezozoika až do svrchní křídy.

Filip a Suchý (2004) se domnívají, že některé tyto události nejsou úplně doloženy, a že zmíněné zahřátí vrstev během devonu až karbonu bylo již dříve publikováno Suchým et al. (1996). Podle těchto autorů byly spodno-paleozoické sledy pražské pánve ovlivněny pouze jednou významnou termální událostí během svrchního devonu až spodního karbonu, jako příčinu uvádí pohřbení nebo tektonické nasunutí sedimentů. Maximální teploty se pohybovaly v rozpětí 80 - 200 °C.

Suchý et al. (1996) zkoumal teplotní historii přídolského a lochkovského souvrství, epigenetickou dolomitizaci vápenců a břidlic a pohřbení těchto vrstev. Pomocí vitrinitové reflektance odvodili teplotu vzniku asi 160 °C. Rovněž krystalinita illitu indikuje vyšší stupeň diagenese za teplot pod 200 °C.

7.5 Předchozí studia migrace fluid v Barrandienu

Studiem hydrotermálních mineralizací v pražské pánvi se zabývala řada autorů. Nejvíce asi Suchý, Dobeš, Volk, Slobodník a Halavínová. Ropné FI popisují např. Suchý et al. (2010), Dobeš et al. (1997), Grimmer et al. (2002), biomarkery („molekulární fosílie“) studoval zejména Volk (2000, 2002).

Cílek et al. (1994) popisují výsledky studia kalcitových žil v Barrandienu. Tito autoři změřili hodnoty stabilních izotopů O a C ze vzorků hrubozrnných kalcitů odebraných z žilné dutiny, která protíná devonské vápence, největší tohoto typu v celém Českém krasu (mocnost 1,9 m). Výsledky vyšly pro kyslík -11 až -7,1 ‰ PDB a pro uhlík -6,4 až -3,3 ‰ PDB. Zjištěné hodnoty pro kyslík indikují krasové nebo mělkovodní prostředí, hodnoty uhlíku naznačují jinou zdrojovou oblast vzniku mimo paleozoické vápence. Podle výsledků z měření fluidních inkluzí usuzuje, že fluida mohla pocházet z hluboce cirkulujících vod nebo z pórových vod.

Podobné žíly nacházející se ve velkolomu Čertovy schody byly zkoumány Žákem et al. (1987) a Suchým et al. (2000). Suchý et al. (2000) studovali karbonátové žíly ve vápencích silursko-devonského stáří na lokalitě Čertovy schody. Žíly jsou nejčastěji kalcitové, lokálně doprovázené

křemenem (záhnědou), bitumeny, pyritem, Mn-oxidy, dolomity a fluoritem. Většina z nich jsou extenzní žíly. Pomocí luminiscence, mikrosondy a měření fluidních inkluzí rozlišil tři generace kalcitových žil. Katodolumiscencí odlišil nejstarší typ kalcitu, který je nevýrazné hnědé barvy, Fe-bohatý, nejvíce tektonicky deformován. Druhý typ kalcitu byl méně deformovaný, různě luminiscentní, Fe-chudý. Obě žíly obsahovaly dvoufázové vodní FI. Teploty tání 0 - 5,8 °C indikují nízkosalinní fluida mezi 0 až 8,9 hm. % NaCl ekv. Th naznačují vysrážení z fluid okolo 70 °C a méně. Podle výsledků FI nejsou žádné rozdíly mezi těmito dvěma typy žil. V druhém typu se někdy objevovaly FI z vysoce salinních solanek v koexistenci s nízké saliními FI obsahující K, Na, Mg a Ca chloridy. Vysoce salinní fluida obsahovala H₂O-NaCl-CaCl₂. Fluorescence uhlovodíkových FI má modrou, žlutou až zelenou barvu (střední až těžší ropy podle API). Podle výsledků z měření stabilních izotopů (-13,2 až 7,2 ‰ PDB a nejnižší rozpětí hodnot od -3,5 až 2,7 ‰ SMOW) usoudil, že roztoky byly vysráženy z hluboce cirkulujících meteorických vod za přítomnosti solanky a z výsledků měření fluidních inkluzí (Th 37- 89 °C, některé Th až 270 °C) usuzuje, že uhlovodíky se dostaly do FI mísením meteorických vod s hlubšími pánevními fluidy. Zlomy, kterými proudila, mají S-J směr a vznikaly při variské orogenezi. Také studovaly méně významné žíly V-Z směru. Nejmladší kalcitové žíly se objevily jen v malém počtu. Mají velmi zonální stavbu viditelnou luminiscencí, střídají se žluté a neluminiscenční zóny. Vznikal za odlišných podmínek než předchozí dva typy žil. Autoři jim přisuzují mělkovodní prostředí (nižší teploty). Žíly odráží epizodické fluidní migrace, které se vyskytovaly podél S-J lineamentů během pozdějších stádií variské orogeneze.

Volk et al. (2002) studovali generace uhlovodíkových inkluzí zachycených v křemeni, kalcitu a dolomitu ze žil a tmelů spojených s migrací bitumenů silursko-devonského stáří. Spolu s dalšími odlišil pět skupin ropných inkluzí (A až E) klasifikovaných podle distribuce n- alkanů. Ropy A typu jsou nejpřirodnější a slouží jako prekursor k vytvoření dalších typů. Jsou to produkty vznikající z odpařovacích frakcí, odizolováním plynu („gas stripping“) a/ nebo přírodní pyrolýzou za přítomnosti vulkanických intruzí nebo migrujících fluid s ropou při hydrotermálních procesech.

Suchý et al. (2002) zkoumali hydrotermální žíly na lomu Kosov (silursko-devonské stáří). Odlišili tři generace žil, které naznačují odlišné pánevní cykly. Pomocí měření fluidních inkluzí zjistili, že naznačující epizodické migrace fluid obsahující uhlovodíky během pohřbení vrstev, komprese a výzdvihu oblasti. Nejmladší odlišené žíly jsou žíly typu „beef“ kalcit. Vyskytují se paralelně s vrstvami břidlic. Teploty homogenizace fluidních inkluzí v tomto kalcitu vyšly 58 až 68 °C. Autoři odhadují hlubší pohřbení během rané uhlovodíkové migrace z přetlakovaných břidlic. Extenzní kalcitové žíly mají V-Z směr a odpovídají variské deformaci. Podle výsledků AFTA určil vznik stáří 380-315 Ma, to znamená, že se shodují stářím s vrcholným pohřbením vrstev, vrásněním a intruzemi variských granitů. Semi-vertikální žíly k vrstvám jsou vyplněny dvojčatým kalcitem, euhedrání záhnědou a zbytky zpevněných bitumenů. Kalcity a záhnědy mají pod UV lampou modrou až modrozelenou fluorescenci. Th všech FI byly od 50 do 110 °C. Teploty tání ledu indikují salinitu 0,4

až 2,4 hm. % NaCl ekv. Plynovou chromatografií a hmotností spektrometrií byla zjištěna přítomnost alkenů a dalších aromatických uhlovodíků nasvědčující geologické události způsobující rychlé prohřátí, které vyústilo termální pyrolýzou uhlovodíků. Vulkanické intruze pod povrchem nejspíše ovlivňovala fluida v okolních zlomech. Zlomy vedoucí S-J směrem označují jako nejmladší. Žíly v těchto zlomech obsahují i krystaly záhnědy s fluorescencí FI modré a žluté až oranžové barvy. Krystalizovaly při teplotách okolo 70 °C nebo méně z H₂O-NaCl roztoků různé salinity s příměsí ropy. Vznik těchto fluid je řazen k hluboko cirkulujícím meteorickým vodám částečně mísenými s hlubokými pánevními fluidy.

Pokud jde o vznik žil typu „beef calcite“, Suchý et al. (2002) se domnívají, že vznikl z konátních vod břidlic, která byla vytlačována kompresí společně s ropnou migrací. Paleotermální gradient pro oblast Barrandienu je asi 30-35 °C/km, což odpovídá hloubce pohřbení 1200-1600 metrů při vzniku tohoto typu kalcitu.

Suchý et al. (2010) studovali kalcitové a křemenné žíly obsahující organickou hmotu v doleritových ložních žilách (diabas) v Barrandienu v liteňském souvrství (spodní silur). Rozlišili tři různé uhlovodíkové epizody. První a nejstarší typ ropné migrace rozlišili pomocí vitritové reflektance pevných bitumenů. Původ ropy přisuzuje sedimentům obsahujícím ropu vzniklým při diagenézi a jejich následné tepelné přeměně na pevné bitumeny.

Druhý (tekutý) typ ropy je podle těchto autorů zachycen ve FI hc(L) typu, které migrovaly již zpevněnými sedimenty při teplotách mezi 73 až 150 °C. Tato migrace podle něj probíhala při největším pohřbení vrstev během nebo po variské orogenezi. Zdroj ropy ve FI zřejmě pochází z hornin obklopující liteňské souvrství a/nebo přímo z nadloží, tj. z kopaninského a/nebo předolského souvrství. Podařilo se mu změřit salinitu hc(L) inkluzí (0,2 – 3,2 hm. % NaCl ekv.).

Nejmladší typ uhlovodíků reprezentují uhlovodíky voskové konzistence se svítivě žlutou fluorescencí. K jejich migraci dochází až po stimulované cirkulaci kyselých vod skrz reaktivované zlomy post-paleogenním alpínským výzdvihem pánve.

Slobodník et al. (2012) se zabývali hydrotermálními žilami v ordovických a silursko-devonských souvrstvích Barrandienu. Pro odlišení původu fluid použil data z měření fluidních inkluzí v kombinaci s výsledky z měření izotopů uhlíku, kyslíku a stroncia. Vzorky byly odebrány z kalcitových a křemenných žil a okolních hornin. Ve vzorcích v kalcitu se nacházela i dolomitová zrna. Uhlovodíkové inkluze jevíly pod UV světlem světle modrou a modrožlutou barvu odpovídající lehce až středně těžkým ropám. Byly nalezeny zejména v žilách umístěných v organicky bohatých silurských horninách a devonských vrstvách v blízkosti břidličných vložek ve vápencích (př. sedimentární sekvence s turbidity, Radotín). Minoritně inkluze obsahovaly také pevné bitumeny s oranžovou fluorescencí. Teploty homogenizace dosahovaly teplot od 37 do 95 °C. Celkový rozsah Th se pohyboval od 70-146 °C. Ordovické křemenné žíly v siliciklastikách dosahovaly hodnot vyšších

než 184 °C, což odpovídá zóně plynokondenzátu. FI nejvíce homogenizovaly na L, méně na V. Vodné roztoky ve všech vzorcích vykazovaly salinitu od 0 do 7.2 hm. % NaCl ekv. Hlavní fluidní migrace byla laterální a/ nebo napříč vrstvy a na krátké vzdálenosti skrz větší zlomy. Pomocí izotopového složení zjistili, že laterálnímu rozsahu pomohly jíly obsažené v břidlicích. Tímto způsobem byly obohacované i fluidní inkluze s uhlovodíky. Pozdní variské žilní minerály krystalizovaly v uzavřeném, horninou-pufrovaném systému, kromě těch vázaných na zlomy a devonské sekvence.

8 ZÁVĚR

Během terénního studia v Žákově lomu ve Velké Chuchli byly rozlišeny 4 typy kalcitových a křemen-kalcitových žil. Na základě protínání žil a částečně též s přihlédnutím k výsledkům studia fluidních inkluzí byla stanovena sukcese těchto žil, od nejstarších po nejmladší: 1) žíly typu „beef calcite“, 2) žíly s plochými krystaly záhnědy v puklinách kolmých na vrstevnatost, 3) střížné žíly s kalcitem ve velké vráse, 4) velká kalcitová žíla se striacemi prostorově vázaná na výrazný lokální zlom.

Dále bylo v celkem 9 vzorcích převážně kalcitové žiloviny realizováno studium fluidních inkluzí. Ve vzorcích ze žil typu 1 až 3 byly identifikovány pouze ropné inkluze, v kalcitu ze žíly typu 4 naopak zas jen vodné inkluze o nízké salinitě (0,4 hm. % NaCl ekv.). Jak ropné, tak vodné inkluze homogenizují při podobných teplotách (nejčastěji mezi 60 a 95 °C) na kapalinu. Kromě tohoto intervalu teplot byly zjištěny i inkluze s nižšími (až 35°C) a vyššími (až 160 °C) teplotami homogenizace. Lze proto konstatovat, že všechny typy žil v Žákově lomu vznikly působením hydrotermálních fluid s obsahem ropných uhlovodíků za minimálních teplot v rozmezí teplot 40-160 °C. Přítomnost ropných uhlovodíků ve fluidních inkluzích byla potvrzena UV fluorescencí (modravé, žluté až hnědé barvy). Převažující modravá fluorescence odpovídá převaze lehčích rop. Nejmladší typ žil (typ 4) tvořený hrubozrnným kalcitem nejevil známky fluorescence v UV světle. Tento typ žil obsahoval jen vodná fluida o nízké salinitě (0,4 hm. % NaCl ekv.) a je tak analogem pozdních kalcitových žil z Barrandienu vázaných převážně na S-J lineamenty.

9 LITERATURA

- Bodnar R. J., 2003. Introduction to aqueous fluid systems. In: Samson I., Anderson A., Marshall D. (ed.) *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Volume 32. – Short course series. Mineralogical Association of Canada, Ottawa, str. 81–100.
- Cílek V., Dobeš P., Žák K., 1994. Formation conditions of calcite veins in the quarry "V Kozle (Hostim I, Alkazar)" in the Bohemian Karst. *J. Czech geol. Soc.*, (39)4: 313-318.
- Dobeš P., Žák K., 1997. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996 (bez ISSN). Český křemenný val a přilehlé žilné mineralizace v západní části Českého masivu: příklad cirkulace fluid ve střížné zóně*. Česká geologická služba Praha, 48 – 49 str.
- Dunham R. J., 1962. *Classification of Carbonate rocks according to the Depositional texture*. In: Hamm W. E. (ed.) *Classification of Carbonate rocks, A symposium*. American Association of Petroleum Geologist, Denver, 108-121 str.
- Filip J., Suchý V., 2004. Thermal and tectonic history of the Barrandian lower Paleozoic, Czech Republic: Is there a fission-track evidence for Carboniferous-Permian overburden and pre-Westphalian alpinotype thrusting? *Bull. Geosc.*, 79(2): 107-112.
- Glasmacher U. A., Mann U., Wagner G. A., 2002. Thermotectonic evolution of the Barrandian, Czech Republic, as revealed by apatite fission-track analysis. *Tectonoph.*, 359: 381–402.
- Grimmer J., Pironon J., Suchý V., Dobeš P., 2002. Petroleum inclusions in the Barrandian Palaeozoic basin, Czech Republic: P, T, X modeling. In: *PACROFI 8, Program with Abstracts*, Halifax, Nova Scotia (Canada), July 22-25, 2002, str. 32-34.
- Havlíček V., 1981. Development of a linear sedimentary depression exemplified by the Prague Basin (Ordovician–Middle Devonian; Barrandian area - central Bohemia). *Sbor. Geol. Věd, Geol.* 35: 7– 48.
- Halavínová M., Melichar R., Slobodník M., 2008. Hydrothermal veins linked with the Variscan structure of the Prague Synform (Barrandien, Czech Republic): resolving fluid-wall rock interaction. *Geol. Quart.*, 52(4): 309–320.
- Horný R., 1962. Das mittelböhmisches Silur. *Geologie*, 11 (8): 873-916.
- Chlupáč I., Havlíček V., Kříž J., Kukul Z., Štorch P., 1992. *Paleozoikum Barrandienu*. ČGÚ Praha, 292 str.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2011. *Geologická minulost České republiky*. Academia Praha, 436 str.

- Jensenius J., Burrus R. C., 1990. Hydrocarbon–water interaction during brine migration: Evidence from hydrocarbon inclusions in calcite cements from Danish North Sea oil fields. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54 (3): 705– 713.
- Kříž J., 1991. The Silurian of the Prague Basin (Bohemia) - tectonic, eustatic and volcanic controls on facies and faunal development. The Murchison Symposium: Proceedings of an international conference on the Silurian System. *Spec. Pap. Palaeont.*, 44: 1-397.
- Kříž J., 1999. *Geologické památky Prahy*. ČGÚ Praha, 280 str.
- Kříž J., Jaeger H., Paris F., Schönlaub H. P., 1986. Přídolí – the fourth subdivision of the Silurian. *Jb. Geol. Bundesanst.*, 129: 291- 360.
- Shepred T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., 1985. *A practical guide to fluid inclusion studies*. Blackie and Sons, Glasgow, 239 str.
- Slobodník M., Melichar R., Bakker R., Prokeš L., 2009. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008 - 0514-8057. Typy organických fluid pražské synformy Barrandienu mobilizované během variské tektonogeneze*. Česká geologická služba Praha, 30-32 str.
- Slobodník M., Melichar R., Hurai V., Bakker R. J., 2012. Litho-stratigraphic effect on Variscan fluid flow within the Prague synform, Barrandian: Evidence based on C, O, Sr isotopes and fluid inclusions. *Mar. and Petrol. Geol.*, 35(1): 128-138.
- Suchý V., Heijlen W., Sýkorová I., Muchez Ph., Dobeš P., Hladíková J., Jacková I., Šafanda J., Zeman A., 2000. Geochemical study of calcite veins in the Silurian and Devonian of the Barrandian Basin (Czech Republic): evidence for widespread post-Variscan fluid flow in the central part of the Bohemian Massif. *Sed. Geol.*, 131: 201–219.
- Suchý V., Dobeš P., Filip J., Stejskal M., Zeman A., 2002. Conditions for veining in the Barrandian Basin (Lower Palaeozoic), Czech Republic: evidence from fluid inclusion and apatite fission track analysis. *Tectonoph.*, 348(1): 25-50.
- Suchý V., Dobeš P., Sýkorová I., Machovič V., Stejskal M., Kroufek J., Chudoba J., Matějovský L., Havelcová M., Matysová P., 2010. Oil-bearing inclusions in vein quartz and calcite and, bitumens in veins: Testament to multiple phases of hydrocarbon migration in the Barrandian basin (lower Palaeozoic), Czech Republic. *Mar. and Petrol. Geol.*, 27(1): 285–297.
- Suchý V., Rozkošný I., Žák K., Franců J., 1996. Epigenetic dolomitization of the Přídolí formation (Upper Silurian), the Barrandian basin, Czech Republic: implications for burial history of Lower Paleozoic strata. *Geol. Rundsch*, 85: 264–277.

Tait J., Bachtadse V., Dinares-Turell J., 2000. Paleomagnetism of Siluro–Devonian sequences, NE Spain. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 105: 23595–23603.

Tucker M. E., 2001. *Sedimentary Petrology (3rd ed.)*. Blackwell Science, Oxford, 262 p.

Patočka F., Vlášímský P., Blechová K., 1993. Geochemistry of Early Paleozoic Volcanics of the Barrandian Basin (Bohemian Massif, Czech Republic): Implications for Paleotectonic Reconstructions. *Jahr.der Geol. Bund.*, 136(4): 873-896.

Prantl F., Příbyl A., 1945. Příspěvek k poznání geologických poměrů u Tachlovic. *Rozpravy České akademie věd a umění, Třída II*, 54(3): 1–12.

Röhlich P., 2007. Structure of the Prague Basin: The deformation diversity and its causes (the Czech Republic). *Bull. of Geosc.*, 82(2): 175-182.

Volk H., 2000. *Source Rocks, Bitumens and Petroleum Inclusions from the Prague Basin (Barrandian, Czech Republic) – Constraints for petroleum generation and migration from petrology, organic geochemistry and basin modelling*. Ph. D. thesis, Der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften der Rheinisch-Westfälisch- Technischen- Hochschule (RWTH), Aachen, 366 str.

Volk H., Horsfield B., Mann U., Suchý V., 2002. Variability of petroleum inclusions in vein, fossil and vugcements – a geochemical study in the Barrandian basin (lower Palaeozoic, Czech Republic). *Org. Geochem.*, 33: 1319–1341.

Žák K., Hladíková J., Lysenko V., Slačík J. (1987): Izotopické složení uhlíku a kyslíku jeskynních sintrů, žilných kalcitů a sedimentárních vápenců z Českého krasu. *Čes. kras*, 13: 5-28.

Zdroje z internetu:

https://www.researchgate.net/figure/249552715_fig3_Fig-3-Geology-of-the-Tepl-Barrandian-region-with-the-Cambrian-P-bram-Jince, 6.6.2016